

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



Efecto de la concentración combinada de l-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre el color, sólidos solubles, pH, textura y aceptabilidad general de rodajas de banano (*Musa paradisiaca* L.) variedad Cavendish

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

JULIO ARNOLD CÁRDENAS CASANOVA

TRUJILLO, PERÚ

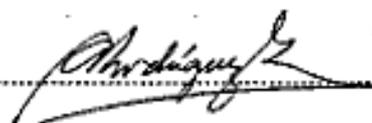
2020

La presente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado



Ing. Dr. Fernando Rodríguez Avalos

PRESIDENTE



Ing. Dr. Antonio Ricardo Rodríguez Zevallos

SECRETARIO



Ing. Ms. Max Martín Vásquez Senador

VOCAL



Ing. Dr. Carlos Eduardo Lescano Anadón

ASESOR

DEDICATORIA

Esta investigación va dedicada a mis padres Olimpia Casanova y Elmer Cárdenas, pilares fundamentales en mi vida, con mucho amor y cariño, en reconocimiento a todo el esfuerzo y sacrificio puesto en mi para que pueda desarrollar mi etapa profesional; se merecen esto y mucho más. La vida me quedará corta, para agradecerles todo lo que hacen por mí.

A mi hermano Rodrigo, por su apoyo incondicional durante todo este proceso y por su cariño. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

En memoria de mis abuelos Carmen Pretell y Jorge Cárdenas, a quienes guardo gratos recuerdos y les estaré eternamente agradecido, por todo su amor incondicional, enseñanzas, paciencia y consejos muy oportunos. A Yolanda Casanova, mi madrina, quien desde muy pequeño me inculcó el lado bueno de las cosas y a sonreír siempre, sin importar cuan complejo sea el problema.

AGRADECIMIENTO

Gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por cada día creer en mí y en mis expectativas. A mi madre, por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio; a mi padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida. Gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

A Dios por la vida de mis padres; porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que sé que más me aman, y a las que yo sé que más amo en mi vida.

Mi más sincero agradecimiento para el Dr. Carlos Lescano, asesor de esta investigación, por su valiosa orientación y apoyo para la conclusión del mismo.

A mis jurados, excelentes profesionales: Dr. Fernando Rodríguez Ávalos, Dr. Antonio Rodríguez Zevallos y Ms. Max Vásquez Senador.

A mi amiga Ing. Daphne García Montejo por el apoyo incondicional durante todo el proceso de la investigación, así como al Ing. Ms. Jesús Obregón por el apoyo en la realización del análisis estadístico.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CARÁTULA.....	i
APROBACIÓN POR EL JURADO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA	3
2.1. Banano (<i>Musa paradisiaca</i> L.)	3
2.1.1. Descripción.....	3
2.1.2. Diferencias entre banano y plátano.....	3
2.1.3. Propiedades nutricionales del banano	4
2.1.4. Índice de madurez del banano	4
2.1.5. Producción de banano en el Perú	5
2.2. Pardeamiento enzimático	6
2.2.1. Generalidades.....	6
2.2.2. Causas del pardeamiento enzimático	6
2.2.3. Control del pardeamiento enzimático	7

2.3. L-cisteína	10
2.4. Cloruro de calcio	11
2.5. Medición del color por visión computacional.....	13
2.6. Evaluación sensorial	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.4. Lugar de ejecución.....	16
3.5. Materiales	16
3.6. Equipos e instrumentos	17
3.7. Método experimental para la investigación sobre rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	17
3.7.1. Esquema experimental para la investigación sobre rodajas de banano tratadas con cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico	17
3.7.2. Proceso de preparación de las rodajas de banano tratadas con cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.	19
3.8. Métodos de análisis	21
3.8.1. Color por visión computacional	21
3.8.2. Índice de pardeamiento.....	22
3.8.3. Sólidos solubles	23
3.8.4. pH.....	23
3.8.5. Textura	23
3.8.6. Aceptabilidad general.....	24
3.9. Métodos estadísticos	24

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre el índice de pardeamiento en rodajas de banano.....	26
4.2. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre los sólidos solubles en rodajas de banano	31
4.3. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre el pH en rodajas de banano.....	35
4.4. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre la textura en rodajas de banano	39
4.5. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre la aceptabilidad general en rodajas de banano	44
V. CONCLUSIONES.....	47
VI. RECOMENDACIONES	48
VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	49
VIII. ANEXOS	54

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Valor nutricional del banano.....	5
Cuadro 2. Volumen anual de producción peruana de banano.....	6
Cuadro 3. Formulación de tratamientos de inmersión.	21
Cuadro 4. Prueba de Levene para el índice de pardeamiento en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	29
Cuadro 5. Análisis de varianza para el índice de pardeamiento en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	30
Cuadro 6. Prueba Duncan para el índice de pardeamiento en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	31
Cuadro 7. Prueba de Levene para sólidos solubles en rodajas de banano... tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico	33
Cuadro 8. Análisis de varianza para sólidos solubles rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico	34
Cuadro 9. Prueba Duncan para sólidos solubles en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico	35
Cuadro 10. Prueba de Levene para pH en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	37
Cuadro 11. Análisis de varianza para pH en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio inmersión en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	38

Cuadro 12. Prueba Duncan para pH en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	39
Cuadro 13. Prueba de Levene para textura en rodajas de banano tratado con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	42
Cuadro 14. Análisis de varianza para la textura en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	43
Cuadro 15. Prueba Friedman para aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	45
Cuadro 16. Prueba de Wilcoxon para la aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema experimental de la investigación sobre rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	18
Figura 2. Proceso de elaboración de las rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico	19
Figura 3. Ficha de evaluación de aceptabilidad general en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio.....	25
Figura 4. Evaluación del índice de pardeamiento en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	27
Figura 5. Evaluación de los sólidos solubles en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	32
Figura 6. Evaluación de pH en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico	36
Figura 7. Evaluación de la textura en rodajas de banano en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	40
Figura 8. Aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico a los 5 días de evaluación.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Menú configuración manual Canon PowerShot A520.	54
Anexo 2. Procedimiento para la determinación del color mediante visión computacional.....	55
Anexo 3. Resultados fisicoquímicos de rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico al día 0 de evaluación	58
Anexo 4. Resultados fisicoquímicos de rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico al día 5 de evaluación	59
Anexo 5. Calificaciones de aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.....	60
Anexo 6. Prueba sensorial de aceptabilidad general tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.	61

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio (0.25/0.25%, 0.49/0.49%, 0.73/0.73%) en la solución de inmersión con ácido ascórbico, sobre índice de pardeamiento, sólidos solubles, pH, textura y aceptabilidad general de rodajas de banano (*Musa paradisiaca* L.) variedad Cavendish a los días 0 y 5 de evaluación a 5 °C. El análisis estadístico se efectuó a un nivel de confianza del 95%. La prueba de Levene determinó homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$) para todas las variables paramétricas en estudio. El análisis de varianza demostró que la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre índice de pardeamiento, sólidos solubles y pH. La textura disminuyó entre los días 0 y 5 de evaluación; sin embargo, los valores no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos. Para la aceptabilidad general, la prueba de Friedman indicó diferencia significativa ($p < 0.05$) entre los tratamientos evaluados a los 5 días de almacenamiento. La prueba de Wilcoxon comparó el tratamiento de mayor aceptación (proporción 0.49/0.49%) con los demás, los resultados indicaron que los tratamientos con la proporción 0.25/0.25% y el control, fueron estadísticamente diferente ($p < 0.05$), sin embargo, con el tratamiento 0.73/0.73% se obtuvo igualdad estadística ($p > 0.05$), por tanto, el tratamiento con la solución combinada L-cisteína/cloruro de calcio de 0.49/0.49%, al presentar menor concentración de L-cisteína/cloruro de calcio, se considera como el mejor tratamiento al día 5 de evaluación. Dicho tratamiento presentó los siguientes datos estadísticos: índice de pardeamiento de 113.96, sólidos solubles de 22.50 °Brix, pH de 5.26, textura de 0.32 N (firmeza a la punción) y aceptabilidad general con 8 de moda, que corresponde a “Me gusta mucho”.

ABSTRACT

The effect of the combined concentration of L-cysteine/calcium chloride (0.25/0.25%, 0.49/0.49% and 0.73/0.73%) in the immersion solution with ascorbic acid, on the browning index, soluble solids, pH, texture and general sensory acceptability of banana slices (*Musa paradisiaca* L.) Cavendish variety on days 0 and 5 of evaluation at 5 °C, was evaluated. The statistical analysis was carried out at a 95% confidence level. The Levene test determined homogeneity of variances ($p > 0.05$) for all the parametric variables under study. The analysis of variance showed that the combined concentration of L-cysteine/calcium chloride in the immersion solution with ascorbic acid had a significant effect ($p < 0.05$) on browning index, soluble solids and pH. Texture decreased between days 0 and 5 of evaluation; however, the values did not show significant differences among the treatments. For general sensory acceptability, the Friedman test indicated a significant difference ($p < 0.05$) among the treatments evaluated at 5 days of storage. The Wilcoxon test compared the treatment of greater acceptance (0.49/0.49% ratio) with the others, the results indicated that the treatments with the 0.25/0.25% ratio and the control were statistically different ($p < 0.05$), however, with the treatment 0.73/0.73% statistical equality was obtained ($p > 0.05$), therefore, the treatment with the combined solution L-cysteine/calcium chloride of 0.49/0.49%, with a lower concentration of L-cysteine/calcium chloride is considered as the best treatment on day 5 of evaluation. This treatment presented the following statistical data: browning index of 113.96, soluble solids 22.50 °Brix, pH 5.26, texture (puncture firmness) 0.32 N and a general sensory acceptability with 8 mode, corresponding to "I like it much".

I. INTRODUCCIÓN

Las frutas y hortalizas son indispensables en la nutrición humana, ya que son una fuente importante de vitaminas, minerales, fibra dietética y antioxidantes; en la actualidad su consumo va en aumento, debido a las permanentes recomendaciones que se dan por los beneficios a la salud de su ingesta diaria. La Organización Mundial de la Salud recomienda un consumo mínimo de 120 kg/persona/año. En la Unión Europea el consumo es, en promedio, de 138.4 kg/persona/año; en Estados Unidos, de 90 kg/persona/año; en Colombia, solamente se consume alrededor de 40 kg/persona/año (Casas, 2011).

El banano es un fruto climatérico de forma alargada y de color amarillo cuando está maduro. Es considerado el cuarto producto agrícola más importante en el mundo, después del arroz, trigo y maíz en términos de producción (Minagri, 2014).

Nutricionalmente, el banano es considerado un alimento energético, rico en potasio, fósforo y vitaminas, pero pobre en proteínas y lípidos, que sirve como alimento para los diabéticos; posee propiedades astringentes, antifúngicas y antibióticas (Blasco y Gómez, 2014).

Existe una creciente demanda de alimentos fáciles de preparar o de consumir denominados “alimentos mínimamente procesados” cuya principal razón de existencia es el tiempo de elaboración que requiere su preparación y cocción. Estos productos presentan características organolépticas y nutricionales similares a las frutas y hortalizas frescas, por lo cual, se comercializan para consumo directo o para preparaciones culinarias rápidas (Begoña y otros, 2015).

Respecto a las exportaciones en fresco de banano orgánico del Perú, durante el 2015 y el 2017, se exportaron \$148 millones (AGRODATAPERU, 2017). Sin embargo, su industrialización no es aprovechada óptimamente debido a que es un fruto que, durante su

proceso de maduración continua, sufre daños físicos externos, lo que provoca pérdidas de textura, firmeza y valor nutricional (Yupanguí, 2016).

En el Perú, todos los bananos exportados son orgánicos, representando alrededor del 3% de la producción mundial. Durante el 2010 al 2015, su producción aumentó en 94%, concentrándose en las regiones de Piura, Tumbes y Lambayeque, y fue producida principalmente por pequeños agricultores (FAO, 2017).

El problema planteado para esta investigación fue:

¿Cuál será el efecto de tres concentraciones combinadas de L-cisteína/cloruro de calcio (0.25/0.25, 0.49/0.49 y 0.73/0.73%) en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre color, sólidos solubles, pH, textura y aceptabilidad general de rodajas de banano (*Musa paradisiaca* L.) variedad Cavendish?

Los objetivos propuestos fueron:

Evaluar el efecto de tres concentraciones combinadas de L-cisteína/cloruro de calcio (0.25/0.25, 0.49/0.49 y 0.73/0.73%) en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre color, sólidos solubles, pH, textura y la aceptabilidad general de rodajas de banano variedad Cavendish.

Determinar la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico, que permita obtener rodajas de banano con menores valores de color y pH, y mayor valor de textura, sólidos solubles y de aceptabilidad general.

II. REVISION DE BIBLIOGRAFÍA

2.1. Banano (*Musa paradisiaca* L.)

2.1.1. Descripción

El banano es un fruto originario de una de las regiones entre el Sudeste de Asia y el Pacífico; las primeras referencias históricas de este fruto datan de 500 a 600 años aC, época en que se menciona su presencia en la India. Sin embargo, es posible que en este país se haya utilizado en la alimentación humana desde muchos miles de años antes. Los primeros clones de banano identificados en América fueron el Seda y el Francés, denominados *Musa paradisiaca* y *Musa sapientum* (Minagri, 2014).

Los bananos son frutas tropicales que presentan una vida útil corta, debido a la oxidación enzimática que sufre durante la maduración y procesamiento. Dicha oxidación tiene un impacto significativo en el color, flavor y la textura, y da como resultado una mala calidad. Por esta razón, muchos investigadores han tratado de retrasar la oxidación, con el uso de diversos tratamientos tales como extracto de cebolla, radiación ultravioleta, calor y atmósfera modificada (Jeong-Seok y otros (2016).

2.1.2. Diferencias entre banano y plátano

Carl Nilsson Linnaeus, en 1753, clasificó a los bananos y plátanos como *Musa paradisiaca*, en referencia a híbridos y cultivares de las especies silvestres *Musa acuminata* y *Musa balbisiana*. Sin embargo, existe diferencia; por ejemplo, cuando se observa una mayor presencia genética de *Musa balbisiana* se le conoce como plátano debido a su mayor contenido de almidón, por ende, para ser consumido debe ser cocido, asado o frito; en tanto que los bananos con un mayor contenido genético de *Musa acuminata* son consumidos como frutas de postre. Otra importante diferencia radica en su contenido de humedad, el plátano contiene

un promedio de 65% de humedad y el banano 74%. Esto hace que la hidrólisis, proceso por el cual los almidones se convierten en azúcares, actúe con mayor rapidez en los bananos que en los plátanos (Minagri, 2014).

2.1.3. Propiedades nutricionales del banano

El banano es un alimento digestivo, por ello, se emplea en dietas de personas afectadas por trastornos intestinales y en niños. Tiene mucho valor energético, es una fuente importante de vitaminas B y C. Contienen poca proteína y la presencia de grasas casi nula. Contiene sales minerales como hierro, fósforo, potasio y calcio. Gracias al potasio es efectivo en la disminución de la hipertensión arterial. Neutraliza el exceso de acidez gástrica y calma los ardores de estómago, es efectivo en el tratamiento de procesos reumáticos, artritis y gota, previene la retención de líquidos y la formación de edemas, entre otras. (Pérez, 2016).

2.1.4. Índice de madurez del banano

La estimación del índice de madurez se realiza de varias formas: mediciones de tamaño, peso o densidad; atributos físicos, como color, firmeza y humedad o contenido de sólidos; atributos químicos como almidón, azúcar o contenido de ácidos; o evaluación morfológica. Sin embargo, la relación pulpa/cáscara es uno de los indicadores de la madurez del banano más significativos y consistentes, debido a que los cambios en esta relación durante la maduración indican cambios diferenciales en el contenido de humedad. A su vez, se relaciona con la concentración de azúcar en los tejidos; ya que al aumentar la concentración en la pulpa crea una presión osmótica que extrae agua de la cáscara aumentando el peso fresco de la pulpa (Pérez, 2016).

Respecto a la composición nutricional, el detalle de los componentes se detalla en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición nutricional del banano

Componente	Contenido (en 100 g comestible)
Agua (g)	74.7
Energía (kJ)	384.93
Grasa (g)	0.49
Proteínas (g)	1.09
Carbohidratos (g)	23.72
Potasio (g)	0.396
Hierro (g)	0.031
Sodio (g)	0.001
Calcio (g)	0.006
Vitamina C (g)	0.009

Fuente: Minagri (2014).

2.1.5. Producción de banano en el Perú

Según el Minagri (2014) las zonas de producción del banano son:

Costa Norte: 16.54% - Piura y Tumbes

Selva Baja: 49.8% - Loreto, Ucayali y Madre de Dios

Selva Alta: 32.07% - Amazonas, Huánuco, Pasco, Cusco, Puno, Junín y Cajamarca.

Otros: 1.59% (La Libertad, Ayacucho, Lima, Lambayeque, Ica y Ancash).

El volumen de producción peruana de banano de 2015 a 2017, se detalla en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Volumen anual de producción peruana de banano

Año	Producción (t)
2015	190 344
2016	201 298
2017	200 533

Fuente: AGRODATAPERÚ (2017)

2.2. Pardeamiento enzimático

2.2.1. Generalidades

El pardeamiento enzimático es una reacción de oxidación en la que el oxígeno interviene como sustrato; las enzimas responsables en este proceso son la polifenoloxidasas y la peroxidasa, las cuales catalizan la oxidación de fenoles a quinonas (Bravo y Vélez, 2016).

Las consecuencias del pardeamiento enzimático no sólo alteran el color, sino también la generación de sabores y olores indeseables, además, de la pérdida de nutrientes (Pereyra, 2011).

El grado de pardeamiento depende de la naturaleza y la cantidad de compuestos fenólicos, la presencia de oxígeno, sustancias reductoras, iones metálicos, pH, temperatura y la actividad de la polifenoloxidasas (Palma, 2010).

2.2.2. Causas del pardeamiento enzimático

El proceso se inicia con la rotura de membranas en el interior de las células del tejido vegetal, debido al estrés mecánico y físico que suele generarse durante la transformación de las materias primas, que induce una serie de respuestas fisiológicas. Uno de los

cambios más perjudiciales es la acumulación de compuestos fenólicos y el posterior oscurecimiento del tejido (Cabezas, 2013).

La polifenoloxidasa es una metaloenzima que actúa durante el procesamiento y senescencia de frutas y hortalizas causando oxidación; que se inicia con la oxidación de un monofenol a o-difenol, para, finalmente, terminar como o-quinona. Estas reacciones son altamente reactivas e inestables y pueden reaccionar con grupos amino y tiol de aminoácidos libres y proteínas mediante mecanismos no enzimáticos, o reaccionar covalentemente con otros compuestos fenólicos para formar diferentes pigmentos (Bravo y otros, 2011). Este fenómeno causa deterioro en las características organolépticas y causa grandes pérdidas económicas en la industria de frutas y hortalizas (Guerrero, 2010).

Según Silveira (2017), la velocidad del proceso de pardeamiento está en función de la cantidad y naturaleza de los compuestos fenólicos, el pH, la temperatura, actividad de agua y cantidad de oxígeno disponible, por lo que, con el control de estos factores se regula el proceso. Por lo tanto, la ocurrencia de pardeamiento enzimático se puede controlar a través de la inactivación de la enzima, exclusión o eliminación de los sustratos o por el cambio de las condiciones ambientales, especialmente el pH.

2.2.3. Control del pardeamiento enzimático

Las reacciones del pardeamiento enzimático pueden controlarse mediante métodos físicos, que incluyen la reducción de temperatura o la disponibilidad del oxígeno molecular, uso de atmósferas modificadas o recubrimientos comestibles, tratamientos con irradiación gamma o altas presiones hidrostáticas; también como métodos químicos basados en la utilización de compuestos que inhiben la enzima, reducen la disponibilidad del sustrato o de los

productos de la catálisis enzimática que evitan la formación de productos coloreados (Martíns y Villas-Boas, 2006).

Método físico

El creciente interés por parte del consumidor hacia productos sin aplicación de agentes químicos ha creado la necesidad de buscar alternativas. Entre las innovaciones más destacadas en este campo se tiene la aplicación de calor y la conservación en refrigeración, atmósfera variable y controlada (Saini y Carg, 2016).

El tratamiento térmico se considera el método más efectivo para la inhibición del pardeamiento. Las técnicas convencionales incluyen los métodos de autoclave y blanqueado con temperaturas de 75 - 95 °C, durante 1 a 10 min, que depende de los requerimientos de los productos y procesos. Estos procesos convencionales están inherentemente relacionados a importantes pérdidas de peso y calidad nutricional del producto. A pesar de la eficacia del tratamiento térmico, normalmente su utilización sólo se recomienda cuando se trata de inhibir el pardeamiento en frutas y hortalizas que son destinadas a congelación y a producciones en conserva, debido a los efectos de cocción, causantes de pérdidas de textura y al desarrollo de reacciones de pardeamiento no enzimático (Saini y Carg, 2016).

El tratamiento térmico, con aplicación de bajas temperaturas, es una de las medidas normalmente usadas para controlar la actividad enzimática de productos frescos durante el manejo, el procesamiento y el almacenamiento, tanto de frutas como de hortalizas. A temperaturas bajas, no sólo son reducidas o inactivadas las actividades enzimáticas responsables del pardeamiento, de manera que se preserve la calidad del producto, sino que, además, las velocidades metabólicas descienden, contribuyendo a incrementar la vida útil del producto (Calderón, 2015).

El modo más satisfactorio de inhibir el pardeamiento enzimático es la eliminación de la disponibilidad del oxígeno. Esto puede obtenerse por desoxigenación al vacío, borbotado de nitrógeno o la acción combinada de la glucosa oxidasa y la catalasa. Sin embargo, es importante considerar que el oxígeno es un requisito de los tejidos vivos. En el caso de sólidos, como las porciones de frutas y hortalizas, la eliminación del oxígeno más sencilla es por inmersión en soluciones como jarabe, salmueras o agua para retardar la difusión del oxígeno. Sin embargo, el tejido se pardeará cuando entre en contacto nuevamente con el aire (Cabañas, 2017).

Método químico

La metodología más extendida para evitar el pardeamiento consiste en la utilización de agentes químicos que actúan como inhibidores, interaccionando directamente sobre las enzimas, los substratos o los productos de las reacciones enzimáticas. La existencia de compuestos químicos que poseen propiedades antipardeamiento ha llevado al desarrollo y aplicación de métodos adecuados para la disminución del oscurecimiento, su aplicación está reglamentada por los organismos correspondientes (FAO/OMS; Codex Alimentarius, FDA y otras) y su dosificación o aplicación están restringidos total o parcialmente en algunos de ellos, por consideraciones toxicológicas o impactos organolépticos en sabor, aroma, color y textura (Saini y Carg, 2016).

Los agentes antipardeamiento se clasifican según actúen sobre la enzima, sobre los substratos o sobre los productos de reacción, y su efecto puede ser temporal, irreversible o reversible. Cada compuesto posee con respecto a la acción antipardeamiento, sus puntos fuertes y débiles, en términos de efectividad variable, disponibilidad, seguridad y costo, siendo su efectividad altamente dependiente del tipo de sistema al que se pretenda proteger (Bravo y otros, 2011).

Los compuestos utilizados actúan como agentes antioxidantes, quelantes o como acidulantes. Los ácidos policarboxílicos (cítrico, málico, tartárico, oxálico y succínico), polifosfatos, el EDTA y otras macromoléculas, como proteínas y porfirinas, se utilizan para secuestrar el cobre del centro activo de la enzima. El pH disminuye con agentes acidulantes, a valores inferiores a 3; también se inhibe la acción de la enzima, aunque el control del pH en frutas es complejo, ya que se puede alterar el tejido y causar rupturas celulares que derivan en la potenciación del oscurecimiento, con la aparición de sabores residuales. Los agentes reductores o antioxidantes actúan reduciendo las quinonas, los difenoles o formando con las quinonas productos de adición menos coloreados (Calderón, 2015).

2.3. L-cisteína

Es un aminoácido no esencial sulfurado derivado de la metionina, que reduce las o-quinonas a o-difenoles no coloreados. Tiene la ventaja de ser más efectiva que el ácido ascórbico en la inhibición del pardeamiento enzimático. Sin embargo, las cantidades necesarias para lograrlo resultan ser perceptibles durante el análisis sensorial (Benavides, 2010).

Dussán-Sarria y otros (2017) evaluaron el efecto combinado de la concentración de 0.5% L-cisteína y 0.92% de ácido cítrico y del tipo de empaque (PET y bolsas de polietileno selladas al vacío) sobre las propiedades fisicoquímicas, firmeza en la pulpa e índice de oscurecimiento en rodajas de plátano verde (*Musa AAB* Simmonds) almacenadas a 11 °C con 92% HR durante 21 días. Los resultados indicaron que existió efecto significativo en la aplicación de ácido cítrico y L-cisteína, los que inhiben el pardeamiento enzimático; así mismo, el almacenamiento en bolsas de polietileno selladas al vacío presentó menores cambios en los atributos de calidad y de firmeza, prolongando la vida de almacenamiento hasta por 21 días a 11 ± 2 °C y $92 \pm 2\%$ de HR.

Vilas-Boas y Kader (2005) estudiaron el efecto combinado de la modificación atmosférica: bajos niveles de O₂ (2 y 4 kPa) y altos niveles de CO₂ (5 y 10 kPa), exposición a 1-Metilciclopropeno y a inmersión química (1% de cloruro de calcio, 1% de ácido ascórbico + 0.5% de cisteína) en bananas recién cortadas. Los resultados mostraron que el mejor tratamiento se obtuvo en la aplicación de inmersión química (1% de cloruro de calcio, 1% de ácido ascórbico + 0.5% de cisteína) durante 2 min; así mismo, se reportó que concentraciones de cisteína menores a 0.5% originaron coloraciones rojizas, en tanto que, concentraciones entre 0.5 y 1% retrasaron el pardeamiento y ablandamiento durante 6 días de almacenamiento de rodajas de plátano recién cortadas.

2.4. Cloruro de calcio

Es un compuesto químico de origen mineral, que es usado como agente conservante y reafirmante de textura en frutas y hortalizas. El efecto que produce sobre la textura se explica por diferentes mecanismos: 1. capacidad para servir como vínculo de unión a sustancias pécticas en la pared celular lámina media, aportando firmeza al tejido y la reducción del ablandamiento y la pérdida de agua; 2. estabilización de la membrana celular, ejerciendo un papel regulador sobre su permeabilidad y sobre el transporte de sustancias involucradas en la senescencia; y 3. aumento de la turgencia celular. Esta acción reafirmante del calcio al mismo tiempo contribuye a una reducción de la liberación de la polifenoloxidasas; y sus sustratos después del corte, contribuyendo a la reducción del oscurecimiento (Casas, 2011).

El autor mencionado anteriormente, evaluó el efecto de la aplicación de baños cálcicos sobre la textura y los atributos de calidad de melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado. Las muestras fueron tratadas con tres fuentes de calcio: cloruro, lactato y propionato a dos concentraciones (0.5 y 1.0%) por tres tiempos (1, 2 y 3 min) de inmersión por aplicación, y se

comparó frente a un blanco y almacenado a 6 °C durante 14 días. El efecto de las diferentes fuentes de calcio influyó en las propiedades mecánicas, enzimáticas y sensoriales de melón precortado de manera diferente, presentándose la mayor retención de calidad en los atributos evaluados con el lactato y el cloruro de calcio. Finalmente, los mejores tratamientos fueron el de lactato de calcio como primera opción, seguido por el cloruro de calcio, ambos al 1% durante 3 minutos a 60 °C, lo que podría ser una alternativa de tratamiento para extender la vida útil de melón fresco precortado.

Aplicación en la Industria alimentaria

Según Casas (2011), las sales de calcio son usadas en la industria como agentes reafirmantes para los tomates en conserva, pepino y otros vegetales, y se ha reportado un beneficio en la reducción del pardeamiento en manzanas, pimientos, fresas, tomates y melocotones. Cabe resaltar su gran importancia en el ámbito sensorial como agente mejorador de textura y como antipardeamiento.

Para la aplicación de calcio en productos mínimamente procesados se ha reportado dos métodos: a) Inmersión, consiste en sumergir el producto en una solución de calcio con o sin agitación, seguido por la eliminación del exceso de solución y b) Impregnación, el objetivo de esta técnica es modificar la composición del producto mediante la eliminación parcial del agua y la impregnación de solutos y fuentes de calcio sin afectar la integridad del producto. De acuerdo con el tiempo de proceso, la magnitud del vacío y la concentración de la solución del proceso, el producto puede ser considerado como de procesado mínimo (Casas, 2011).

2.5. Medición del color por visión computacional

El atributo de calidad que contribuye a la primera impresión del producto alimenticio es su apariencia visual, determinada por el color y la forma. Sólo en segundo lugar, cuando el alimento se ha evaluado a través de los ojos y juzgado seguro para comer, se valora a través de otros componentes de la calidad sensorial, flavor y textura. La importancia del color del producto alimenticio comercial es indiscutible, pues en los puntos de venta se valora el alimento sólo por la apariencia. Tal es así que generalmente es asumido como “Si luce bien, sabe bien” (Clydesdale, 1993).

La determinación del color se puede realizar por inspección visual (humana) o mediante el uso de un instrumento de medición de color. Uno de los métodos instrumentales es el uso de análisis de imagen, también conocido como *sistema de visión computacional*; este sistema cumple una función importante en la evaluación de la calidad de los alimentos, al mantener la precisión y consistencia, a la vez que elimina la subjetividad de las inspecciones manuales. Por esta razón, este método es utilizado para detectar cambios de color en muchos estudios; las ventajas de este método son la objetividad y la inspección no destructiva (Jeong-Seok y otros, 2016).

La visión computacional se aplica al análisis de cambios en la superficie de chocolates, a la clasificación de las categorías de calidad en frutas, de aceite de palma de carcasas de res. Es por ello que este método se ha utilizado para medir objetivamente el color de alimentos, ya que proporciona algunas ventajas sobre un colorímetro convencional, por la posibilidad de analizar toda la superficie del alimento y la cuantificación de las características superficiales y defectos. Además de ello, es menos costosa y más versátil para la medición del color de muchos alimentos que los instrumentos de medición de colores tradicionales (León y otros, 2006).

El método de visión computacional consiste en la adquisición de una imagen o video digital y un software de procesado de imágenes. Partiendo de la imagen RGB (red, green, blue), el software convierte la imagen original en otros espacios de color, tales como L, a y b. El paso más crítico en el procesado de la imagen es el de aislar la región a estudiar (que puede ser la imagen entera o sólo una parte) dentro de la imagen, que se realiza mediante la segmentación de la imagen. La segmentación de la imagen y las medidas del color se realizan mediante algoritmos (Cabezas, 2013).

Etapas en la determinación del índice de pardeamiento

El color también puede ser medido de manera objetiva mediante técnicas computarizadas de análisis de imagen, conocidas como sistemas de visión computacional. Estos sistemas no sólo ofrecen una metodología para la medida de color de superficies desiguales, sino también se utilizan para medidas de otros atributos del aspecto general (León y otros, 2006). El software usado en la presente investigación, no solo permitió determinar la escala RGB (red, Green, blue), sino también parámetros de luminosidad, textura, etc. Para ello, es necesario desarrollar algoritmos que permitan su análisis a través de la fotografía tomada.

Cabezas (2013), evaluó el efecto de diferentes compuestos (ácido ascórbico, ácido cítrico, cisteína y su combinación, etanol, cloruro de sodio, 4-hexilresorcinol) sobre el oscurecimiento en alcachofas. Los resultados indicaron que el tratamiento con 0.5% L-cisteína fue el más eficaz para prevenir el oscurecimiento. Para la evaluación del oscurecimiento se utilizó visión computacional, cuyo procedimiento fue tomar como muestra 6 piezas las cuales fueron fotografiadas en la misma imagen con la siguiente configuración de cámara: exposición manual modo con el valor de apertura del objetivo en $f = 6.3$, velocidad $1/4$, Resolución de 3888×2592 píxeles, y almacenamiento en formato TIFF (Tagged Image File Format). Todos Los algoritmos de segmentación de imágenes, medición y conversión de

espacio de color, se realizaron con MATLAB®. v7.0, caja de herramientas de procesamiento de imágenes (MathWorks, 2010). Los resultados representan un paso adelante en la investigación sobre tratamientos antipardeamiento para las alcachofas recién cortadas, además de proporcionar una herramienta objetiva para la evaluación del color.

2.6. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial surge como disciplina para medir la calidad de los alimentos, conocer la opinión y mejorar la aceptación de los productos por parte del consumidor. Comprende un conjunto de técnicas para la medida precisa de las respuestas humanas a los alimentos e intenta aislar las propiedades sensoriales de los alimentos y aporta una información muy útil para el desarrollo de productos (Anzaldúa-Morales, 2005).

La evaluación sensorial consiste en presentar muestras, mediante el cual los jueces perciben y califican, con la caracterización de las propiedades sensoriales de muestras adecuadamente presentadas, bajo condiciones ambientales preestablecidas y con un patrón de evaluación acorde con el posterior análisis estadístico. Además, el método no solo se emplea para el mejoramiento y optimización de los productos alimenticios, sino también para realizar investigaciones en la elaboración y la innovación de nuevos productos, en el aseguramiento de la calidad y marketing (Alarcón, 2005).

En la actualidad la evaluación sensorial de los alimentos constituye una de las herramientas más importantes para el mejor desenvolvimiento de las actividades de la industria alimentaria. Así pues, por su aplicación en el control de calidad y de los procesos, el diseño y desarrollo de nuevos productos y en la estrategia del lanzamiento de los mismos al comercio, la hace, sin duda, copartícipe del desarrollo y avance mundial de la alimentación (Pérez, 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.4. Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego.

3.5. Materiales

Material de investigación

- Banano (*Musa paradisiaca* L.), fue adquirido en el mercado La Hermelinda, de la ciudad de Trujillo.

Insumos

- Ácido ascórbico. Grado alimenticio. Marca China Chem Source CO
- Agua destilada.
- Alcohol etílico 96°
- Cloruro de calcio. Marca Tetra, Chemical Europe Oy
- Hipoclorito de sodio
- L-cisteína. Grado alimenticio. Marca Merck.

Otros materiales

- Cucharas de acero inoxidable
- Cuchillos de acero inoxidable
- Tabla para cortar
- Tinas capacidad 5 L
- Mallas plastificadas
- Luminarias 50 W
- Vaso de precipitación 250 mL

3.6. Equipos e instrumentos

- Cabina de toma de imágenes color Negro (38x40x45 cm³)
- Cámara digital Canon Power Shot A520
- Computadora Lenovo modelo E47G
- Refrigerador. Marca LG. Modelo GN-M422CLO. Rango 0 a 8 °C. Precisión ± 2 °C.
- Balanza analítica. Marca Mettler Toledo. Capacidad 0 - 210 g, sensibilidad aprox. 0.0001 g.
- Balanza marca Ohaus. Capacidad 0 – 600 g, precisión 0.01 g.
- pH metro marca Memmert. Rango 0 – 14
- Refractómetro portátil marca Link Modelo RHB-32ATC. Rango 0 – 32 °Brix, aprox. ± 0.2 °Brix.
- Texturómetro. Marca Instron. Modelo 3342. Espacio de ensayo vertical de 651 mm.

3.7. Método experimental para la investigación sobre rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

3.7.1. Esquema experimental para la investigación sobre rodajas de banano tratadas con cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

La Figura 1 muestra el esquema experimental de la investigación sobre pardeamiento de rodajas de banano. La variable independiente es la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico; y las variables dependientes: color, sólidos solubles, pH, textura y aceptabilidad general.

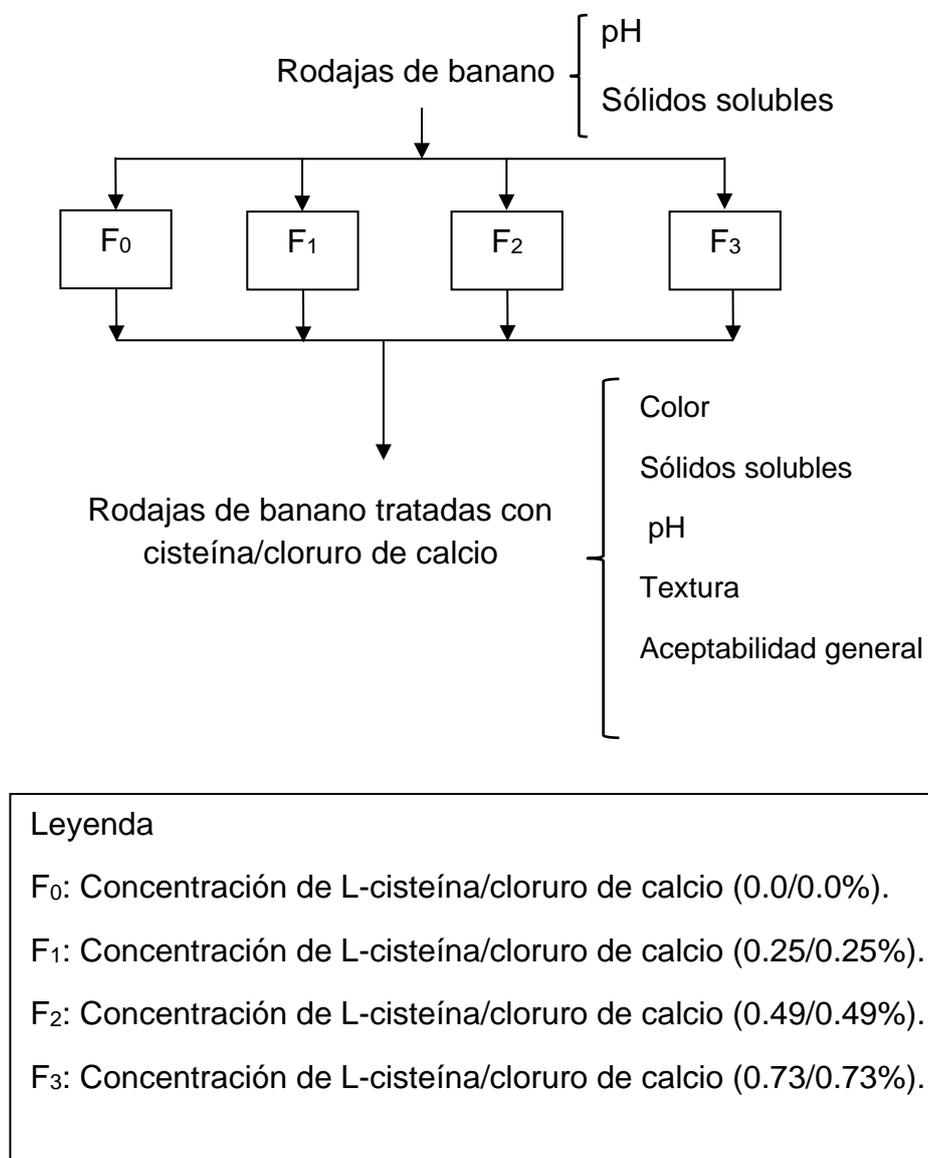


Figura 1. Esquema experimental de la investigación sobre rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.

3.7.2. Proceso de preparación de las rodajas de banano tratadas con cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.

En la Figura 2, se presenta las operaciones para la preparación de las rodajas de banano.

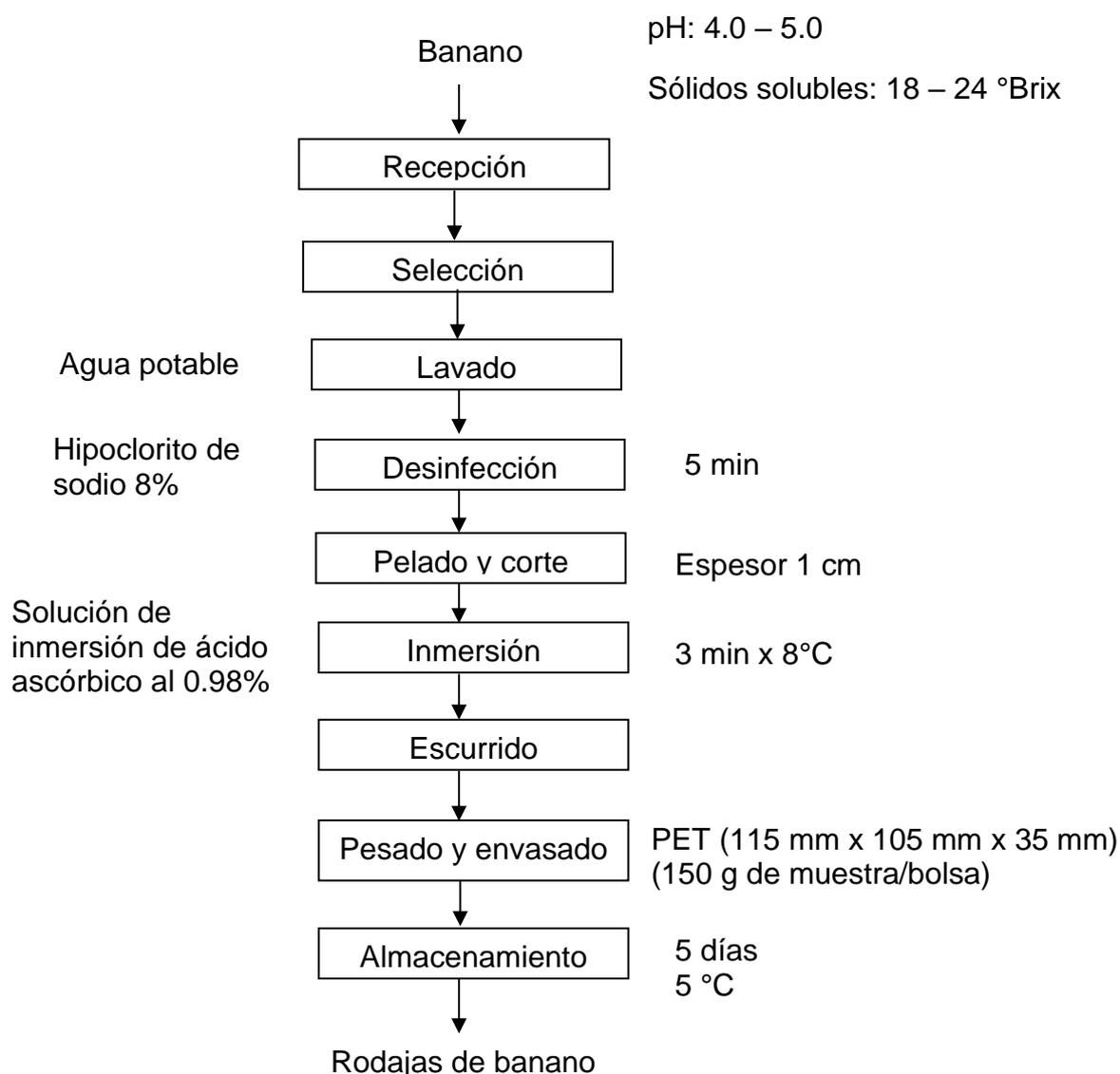


Figura 2. Proceso de elaboración de las rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

A continuación, se describe cada operación que se muestra en la Figura 2, para la preparación de las rodajas de banano.

Recepción. El banano se adquirió del mercado La Hermelinda; ubicado en la ciudad de Trujillo, y se trasladó al Laboratorio de Ingeniería de Alimentos en bolsas de polietileno de baja densidad, a temperatura ambiente. Luego se determinó el pH (5.0 ± 0.5) y los sólidos solubles (23 ± 1 °Brix).

Selección. Se retiró aquellos bananos que presentaron daños físicos visibles como golpes, magulladuras o infección de hongos visibles (Bico y otros, 2009).

Lavado. Se realizó con agua potable a fin de eliminar materiales contaminantes (Bico y otros, 2009).

Desinfección. Se empleó hipoclorito de sodio al 8%, con tiempo de contacto de 5 min; para asegurar la mayor eliminación de la carga microbiana.

Pelado y corte. El pelado se realizó de manera manual y para el corte se usó una tabla para cortar y cuchillo de acero inoxidable (ambos previamente desinfectados con alcohol), así mismo las rodajas tuvieron un diámetro de 2 cm y su espesor fue 1 cm.

Inmersión. Las rodajas de banano (80 g) se sumergieron en la solución de inmersión (2 L) a 8 °C durante 3 min. Los componentes de las tres formulaciones de la solución de inmersión, se detallan en el Cuadro 3.

Ecurrido. Las rodajas de banano fueron secadas sobre mallas de acero inoxidable y colocadas en un ambiente refrigerado a 5 °C durante 10 min antes de envasar (Bico y otros, 2009).

Cuadro 3. Formulación de tratamientos de inmersión

Insumos	Cantidad (%)			
	F ₀	F ₁	F ₂	F ₃
L-cisteína	0	0.25	0.49	0.73
Cloruro de calcio	0	0.25	0.49	0.73
Ácido ascórbico	0.98	0.98	0.98	0.98
Agua	99.02	99.02	99.02	99.02
Total	100.00	100.50	100.98	101.46

El control fue sumergido en agua pura, a la misma temperatura y tiempo indicado.

Pesado y envasado. Las rodajas de banano (150 g) se colocaron en una bandeja PET (115 mm x 105 mm x 35 mm) (18 rebanadas aproximadamente) (Pérez, 2016).

Almacenamiento. Las rodajas de banano se almacenaron a 5 °C para, luego, evaluar sus características fisicoquímicas y sensoriales a los cinco días de almacenado (Pérez, 2016).

3.8. Métodos de análisis

3.8.1. Color por visión computacional

Se inicia con la toma de fotografías (imágenes a color) de las muestras de banano tratadas, en una cabina con paredes interiores de color negro opaco. Las evaluaciones se realizaron a temperatura ambiente. En el interior de la cabina, se instaló una cámara digital Canon PowerShot A520, localizada en la parte superior a una distancia vertical fija de 35 cm de la base. Así mismo, en la parte lateral superior y frontal de la cámara, se tuvo luminarias de 50 W que distribuyeron uniformemente la luz. Adicionalmente, con ayuda de soportes de madera, la muestra (de 12 a 16 rodajas de banano) se situó en la parte central y a 19 cm debajo del lente de la cámara.

Antes de iniciar la toma de las fotografías, se hizo una configuración manual a los parámetros de la cámara (Ventana RemoteCapture Task) como son: Av (ajuste de la abertura): F2.6; resolución: M2 (1024 × 768 píxeles); compresión: super fina; velocidad de obturación: 1/100 y flash desactivado (Anexo 1).

Con los ajustes mencionados en el Anexo 1, se procedió a tomar las fotografías correspondientes a los tratamientos (Control, L-cisteína/cloruro de calcio: 0.25/0.25%, 0.49/.49% y 0.73/0.73%) para los días 0 y 5 de evaluación.

Las imágenes adquiridas se guardaron en formato JPG y a través de un cable USB fueron transferidas a la memoria de la computadora.

3.8.2. Índice de pardeamiento

Para el procesamiento de las imágenes y obtención de los valores de color (CIE L, a, b; valor de luminosidad, enrojecimiento y amarillamiento.), se usó el software libre ImageJ. Las etapas se describen a continuación y se complementan en el Anexo 2.

Se inició accediendo al software libre ImageJ; luego, se procedió a ubicar la imagen a evaluar (localizada en la carpeta donde se almacenaron las tomas fotográficas de los tratamientos al día 0 y 5 de evaluación). Posterior a ello, ImageJ solicita adjuntar la imagen a evaluar; luego se establece el área parcial a determinar para los valores de color en escala RGB; en el presente proyecto se empleó un área de 40 x 40 píxeles ubicada en la parte central de la rodaja de banano. Finalmente, el software arrojó los datos de color, cuya data fue anexada a una hoja de cálculo en Excel, para la transformación de los datos de escala RGB a CIE L, a y b, se empleó un algoritmo libre en Excel (Anexo 2 – Etapa 6).

Con los datos del procesamiento de datos (CIE L, a y b) en ImageJ, se procedió a calcular el índice de pardeamiento (BI), valor que indica la pureza del color marrón, reportado como un parámetro importante en procesos donde se presenta el pardeamiento enzimático y no enzimático (Dussán-Sarria y otros, 2017).

El índice de pardeamiento (BI) se calculó con las siguientes ecuaciones:

$$BI = \frac{[100(X - 0.31)]}{0.17}$$

Donde:

$$X = \frac{a + 1.75 - L}{(50645L + a - 3.012b)}$$

X = relación de los parámetros de color CIELab (L, a, b)

L = luminosidad

a = coordenadas rojo/verde

b = coordenadas amarillo/azul

3.8.3. Sólidos solubles

Se utilizó un refractómetro marca Link Modelo RHB-32ATC y se realizó el procedimiento recomendado por la AOAC (1997).

3.8.4. pH

Se empleó un pH metro marca Memmert con el procedimiento recomendado por la AOAC (1997).

3.8.5. Textura

Se determinó con un texturómetro Instron modelo 3342. Para ello, se tomaron tres muestras por cada tratamiento, las cuales se colocaron en el equipo de manera tal que el punzón penetró el centro de la muestra. Los parámetros del ensayo fueron los siguientes: Modo medida de fuerza en compresión, punzón de 2 mm diámetro y 8 cm de largo, fuerza de carga: 50 N, velocidad de test: 5.0 mm/s, alcance 50% del espesor (Bico y otros, 2009).

3.8.6. Aceptabilidad general

A los 5 días de evaluación, las muestras de banano se sometieron a un análisis sensorial para evaluar la aceptabilidad general. Y usó una escala hedónica estructurada de 1 a 9 puntos (Figura 3), donde 9: Me gusta extremadamente, 8: Me gusta mucho, 7: Me gusta moderadamente, 6: Me gusta levemente, 5: No me gusta ni me disgusta, 4: Me disgusta levemente, 3: Me disgusta moderadamente, 2: Me disgusta mucho y 1: Me disgusta extremadamente. Se trabajó con 30 panelistas no entrenados (Anzaldúa-Morales, 2005).

3.9. Métodos estadísticos

Se utilizó un diseño estadístico de 1x4 con 3 repeticiones. Para la evaluación de las características paramétricas (color, sólidos solubles, pH y textura) se utilizó la prueba de Levene, para determinar la homogeneidad de varianzas, el análisis de varianza, para finalmente, la prueba de comparaciones múltiples de Duncan, para todas las pruebas se realizan a un nivel de confianza del 95% (Pérez, 2016)

Los datos no paramétricos de aceptabilidad general de las rodajas de banano fueron evaluados mediante las pruebas de Friedman y Wilcoxon, ambas con un nivel de confianza del 95% (Anzaldúa-Morales, 2005).

Para procesar los datos y figuras se utilizó el software especializado Statitital Package for the Social Science (SPSS) versión 25.0 y para la elaboración de los gráficos se usó el Software Estadístico Minitab 18.

Aceptabilidad General				
Nombre: _____		Fecha: _____		
Producto: Rodajas de banano				
Observe y pruebe las muestras que se le presentan e indique, según la escala, su opinión sobre ellas.				
Marque con un aspa el renglón que corresponda a la percepción de aceptabilidad de la muestra.				
ESCALA	MUESTRAS			
	139	331	216	315
Me gusta extremadamente
Me gusta mucho
Me gusta moderadamente
Me gusta levemente
No me gusta ni me disgusta
Me disgusta levemente
Me disgusta moderadamente
Me disgusta mucho
Me disgusta extremadamente
Comentarios				
.....				
.....				

Figura 3. Ficha de evaluación de aceptabilidad general en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio.

Fuente: Anzaldúa-Morales (2005).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre el índice de pardeamiento en rodajas de banano

La Figura 4 muestra los resultados de la evaluación del color de las rodajas de banano, expresado como índice de pardeamiento, al día inicial y a los cinco días de almacenamiento a 5 °C. En el día inicial, el tratamiento con L-cisteína/cloruro de calcio en la combinación 0.49/0.49% presentó el mayor índice, con un valor de 105.34 y con la combinación 0.73/0.73% se obtuvo el menor valor con 57.42. Se aprecia que a medida que se incrementa la concentración de L-cisteína/cloruro de calcio, el efecto es más eficaz. Vilas-Boas y Kader (2006) observaron que, cuando se usa L-cisteína como inhibidor de enzimas, se forma coloración rosada si la concentración de L-cisteína es inferior al 0.5%. Esto explica el efecto en el tratamiento 0.25/0.25%, que resultó en un mayor índice de pardeamiento en las rodajas de banano. Los resultados experimentales se muestran en el Anexo 3 para el día 0 y en el Anexo 4 para el día 5 de evaluación.

En el día 5 de evaluación, el índice de pardeamiento aumentó en todas las muestras, siendo el tratamiento con la solución de inmersión de 0.73/0.73% de L-cisteína/cloruro de calcio, el de menor valor, con 65.29; el tratamiento en solución 0.25/0.25% fue el que presentó el mayor valor de 122.14, mayor que de la muestra control (111.38); este fenómeno ya ha sido observado antes por Dussán-Sarria y otros (2017).

Este comportamiento se explica por la acción de la L-cisteína, que a bajas concentraciones aumenta el pardeamiento, hasta llegar a una concentración mayor, a partir de la cual, empieza a mostrar sus efectos de control de oscurecimiento del banano.

Furtado y otros (2015) consideran que la aparición de coloraciones rojizas se debe a la regeneración de fenoles causada por la oxidación de la L-cisteína con grupos tiol, en presencia de o-quinonas.

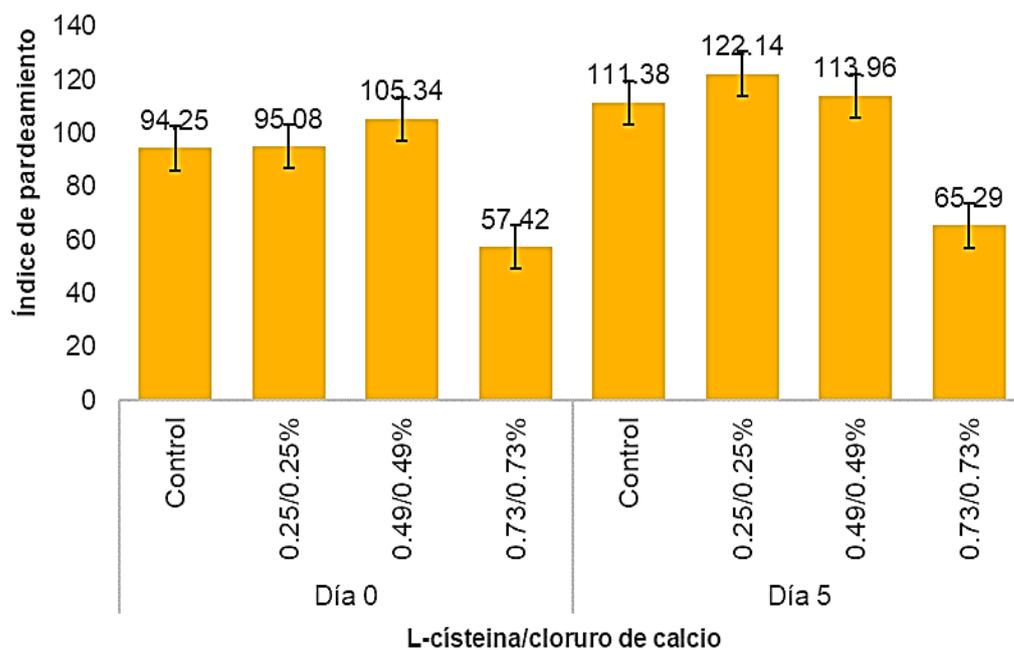


Figura 4. Evaluación del índice de pardeamiento en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Dussán-Sarria y otros (2017) evaluaron el efecto de la concentración de 0.5% L-cisteína, 0.92% de ácido cítrico y tipo de empaque (PET y bolsas de polietileno selladas al vacío) sobre el índice de pardeamiento en rodajas de plátano verde (*Musa AAB* Simmonds) almacenadas a 11 °C durante 21 días. Los resultados muestran una tendencia de aumento en los valores del índice de pardeamiento con el transcurrir de los días en todas las condiciones evaluadas, siendo más pronunciado en el tratamiento control, con 75.26 en el último día de almacenamiento; en tanto que los tratamientos con 0.5% L-cisteína y empaque tipo PET permitieron mantener los valores de pardeamiento con 32.96 y 33.15, respectivamente. De la

misma manera en esta investigación la tendencia fue creciente; sin embargo, los valores reportados en la evaluación al día 0 y 5, indica que el tratamiento 0.73/0.73% L-cisteína/cloruro de calcio obtuvo menores valores de índice de pardeamiento 57.42 y 65.29 respectivamente.

Furtado y otros (2015) evaluaron el efecto de las concentraciones de ácido ascórbico (1 y 2%), L-cisteína (0.5 y 1%), metabisulfito de sodio (0.01 y 0.03%) y ácido cítrico (1 y 2%) a dos tiempos de almacenamiento (0 y 120 h) a 8 °C, sobre el índice de pardeamiento en rodajas de manzana y banano. Los resultados muestran que la aplicación de L-cisteína al 1%, obtuvo 11.57 de índice de pardeamiento, el cual fue el menor reportado en comparación al resto de tratamientos. Del mismo modo, en la presente investigación, el tratamiento 0.73/0.73% L-cisteína/cloruro de calcio obtuvo el menor índice de pardeamiento (72.40).

Vilas-Boas y Kader (2006) observaron que, cuando se usa L-cisteína como inhibidor de enzimas, se forma coloración rosada si la concentración de L-cisteína es inferior al 0.5%. De esta manera se explica por qué el tratamiento de 0.25/0.25% L-cisteína/cloruro de calcio obtuvo mayor índice de pardeamiento en la evaluación al día 5.

Según Gorny y otros (2001), el uso de L-cisteína solo como un inhibidor del pardeamiento enzimático no es efectivo. Sin embargo, se usa en combinación con ácido ascórbico, que es un agente reductor y el pardeamiento débil, puede ser completamente inhibido. Hecho que guarda coherencia con la formulación usada en la presente investigación.

En el Cuadro 4, se presenta la prueba de Levene para los valores de índice de pardeamiento en rodajas de banano para el día inicial y 5 de evaluación, donde existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$) para el índice de pardeamiento, por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y, posteriormente, la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 4. Prueba de Levene para el índice de pardeamiento en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	Estadístico de Levene	p
0	0.340	0.798
5	0.550	0.662

En el Cuadro 5, se presenta el análisis de varianza para el efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre el índice de pardeamiento de rodajas de banano.

Este análisis indicó que la aplicación de cisteína/cloruro de calcio presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el índice de pardeamiento en rodajas de banano, para los días 0 y 5 de evaluación.

En el Cuadro 6, se presenta la prueba de Duncan aplicada a los valores del índice de pardeamiento tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.

Cuadro 5. Análisis de varianza para el índice de pardeamiento en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
0	L-cisteína/cloruro de calcio	3975.639	3	1325.213	18.076	0.001
	Error	586.509	8	73.314		
	Total	4562.147	11			
5	L-cisteína/cloruro de calcio	5935.604	3	1978.535	5.469	0.024
	Error	2894.290	8	361.786		
	Total	8829.894	11			

La prueba de Duncan indica que para el día inicial de evaluación el tratamiento con 0.73/0.73% de L-cisteína/cloruro de calcio presentó menor índice de pardeamiento (57.42), en tanto que, los tratamientos con L-cisteína/cloruro de calcio 0.25/0.25%; 0.49/0.49% y el control presentaron mayores valores de 95.058, 105.34 y 94.25, respectivamente (todos estadísticamente iguales al pertenecer al mismo subgrupo). Los resultados al quinto día de evaluación indican que el tratamiento 0.73/0.73% con L-cisteína/cloruro de calcio presentó menor índice de pardeamiento de 65.29; para los tratamientos restantes, no existió diferencias entre ellos (estadísticamente iguales al pertenecer al mismo subgrupo).

Cuadro 6. Prueba Duncan para el índice de pardeamiento en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	L-cisteína/cloruro de calcio	Subgrupo	
		1	2
0	0.73/0.73%	57.42	
	Control		94.25
	0.25/0.25%		95.08
	0.49/0.49%		105.34
5	0.73/0.73%	65.29	
	Control		111.38
	0.49/0.49%		113.96
	0.25/0.25%		122.14

4.2. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre los sólidos solubles en rodajas de banano

La Figura 5 muestra los resultados experimentales de la evaluación del contenido de sólidos solubles en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio al día 0 y al día 5 de almacenamiento. El día inicial, el control presentó el mayor contenido de sólidos solubles (23.27%) y el menor valor (19.67%) fue el del tratamiento con L-cisteína/cloruro de calcio con 0.73/0.73%; estos valores de sólidos solubles se encuentran dentro del rango que corresponde a la madurez de consumo (18 - 24 °Bx). Para el día 5 de almacenamiento, las rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio, el contenido de sólidos solubles fue mayor en el control con 23.17% y menor en el tratamiento con 0.73/0.73%; con 20.83%. Los resultados experimentales se muestran en el Anexo 3 para el día 0 y en el Anexo 4 para el día 5 de evaluación.

Dussán-Sarria y otros (2017) reportaron un aumento en el contenido de sólidos solubles en rodajas de banano durante almacenamiento a 11 °C durante 21 días. Al inicio del almacenamiento presentaron un valor de 7 °Brix y a los 21 días 10 °Brix. En la presente investigación se evidencia un aumento en el contenido de sólidos solubles, tendencia que coincide con los resultados de esta investigación. La concentración de los sólidos solubles presenta un aumento progresivo a través de los días de almacenamiento debido a los procesos hidrolíticos del almidón en el fruto, lo cual es característico en el proceso de maduración (Quiceno y otros, 2014).

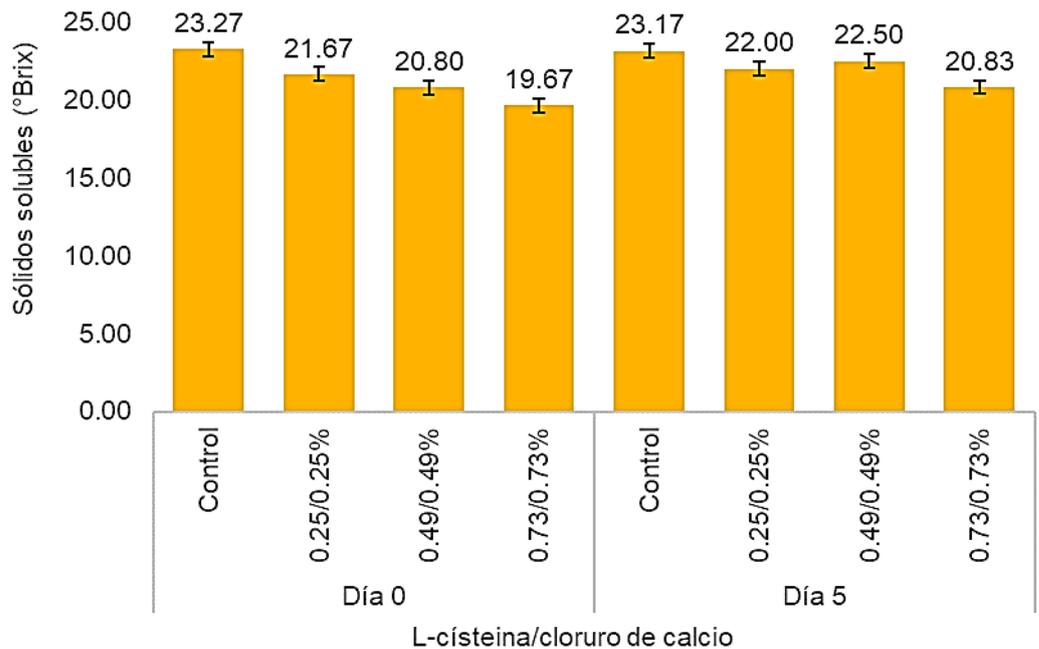


Figura 5. Evaluación de los sólidos solubles en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Según Cachay (2017), el contenido de sólidos solubles aumenta a medida que los frutos maduran, y podría representar el grado de madurez. Así mismo, los sólidos solubles varían entre los cultivares y los grados de madurez. Por ejemplo, en algunos frutos el contenido de sólidos solubles aumenta hasta un pico y, luego, disminuye; en otros; por ejemplo, los sólidos solubles totales continúan su aumento con la maduración.

En el Cuadro 7, se presenta la prueba de Levene para los valores de sólidos solubles en rodajas de banano para el día inicial y en el día 5 de evaluación, se observa que existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y, posteriormente, la prueba de Duncan, para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 7. Prueba de Levene para sólidos solubles en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	Estadístico de Levene	p
0	0.440	0.731
5	0.740	0.557

En el Cuadro 8, se presenta el análisis de varianza para el efecto de la concentración combinada de cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre sólidos solubles de rodajas de banano.

Cuadro 8. Análisis de varianza para sólidos solubles en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
0	L-cisteína/cloruro de calcio	20.730	3	6.910	6.628	0.015
	Error	8.340	8	1.043		
	Total	29.070	11			
5	L-cisteína/cloruro de calcio	8.729	3	2.910	6.072	0.019
	Error	3.833	8	0.479		
	Total	12.563	11			

El análisis de varianza indica que la aplicación de cisteína/cloruro de calcio presentó efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el contenido de sólidos solubles en rodajas de banano, para los días 0 y 5 de evaluación.

Resultados similares fueron reportados por Dussán-Sarria y otros (2017), quienes determinaron efecto significativo ($p < 0.05$) del efecto de la concentración de 0.5% L-cisteína, 0.92% de ácido cítrico y tipo de empaque (PET y bolsas de polietileno selladas al vacío) sobre los sólidos solubles en rodajas de plátano verde (*Musa AAB* Simmonds) almacenadas a 11 °C durante 21 días.

En el Cuadro 9, se presenta la prueba de Duncan aplicada a los valores de sólidos solubles en rodajas de banano tratados con cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.

Cuadro 9. Prueba Duncan para sólidos solubles en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	L-cisteína/cloruro de calcio	Subgrupo	
		1	2
0	0.73/0.73%	19.67	
	0.49/0.49%	20.80	
	0.25/0.25%	21.67	21.67
	Control	23.27	
5	0.73/0.73%	20.83	
	0.25/0.25%	22.00	22.00
	0.49/0.49%	22.50	
	Control	23.17	

La prueba de Duncan indica que para el quinto día de evaluación los tratamientos con L-cisteína/cloruro de calcio en la proporción 0.73/0.73% y 0.25/0.25% (subgrupo 1) presentaron menor contenido de sólidos solubles (20.83 y 22.00, respectivamente).

4.3. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre el pH en rodajas de banano

La Figura 6 presenta los valores de pH en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio para los días 0 y 5 de almacenamiento. Para el día inicial de evaluación, el tratamiento con L-cisteína/cloruro de calcio con 0.73/0.73% presentó el mayor valor de 5.26 y el tratamiento con 0.49/0.49% menor valor de 5.24; para el día 5 de evaluación el pH fue mayor en el control con 5.32 y menor en el tratamiento con 0.25/0.25% con 5.23; este fenómeno ya ha sido observado por Martins y Vilas (2006). Los

resultados experimentales se muestran en el Anexo 3 para el día 0 y en el Anexo 4 para el día 5 de evaluación.

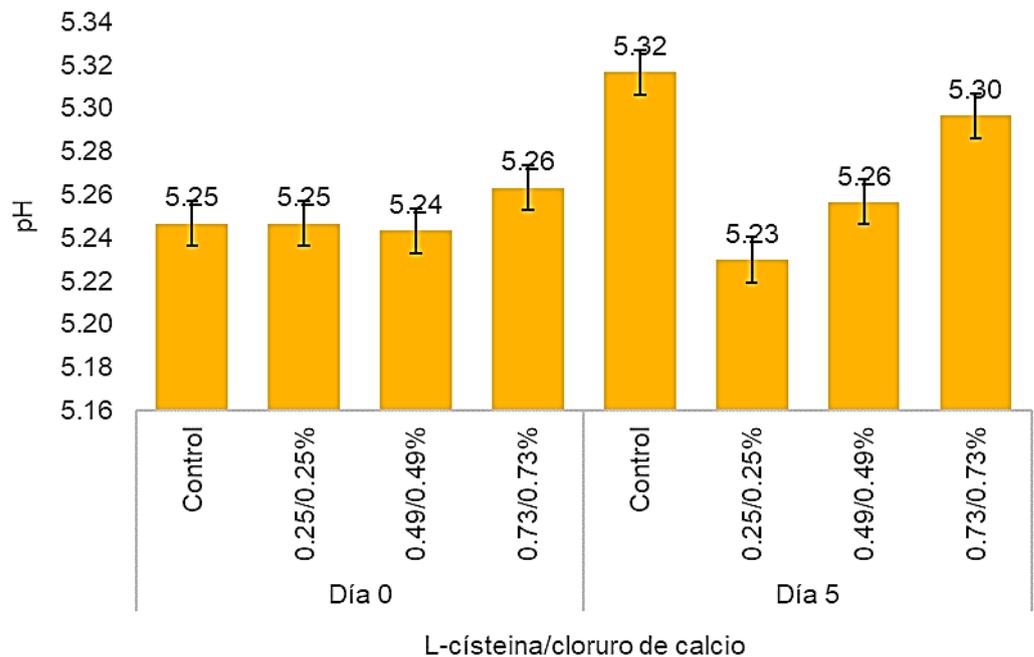


Figura 6. Evaluación de pH en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Martíns y Vilas-Boas (2006) estudiaron el efecto de la concentración de ácido ascórbico, cloruro de calcio, L-cisteína y EDTA sobre el pH de banano variedad Manzano almacenado a 5 °C durante 5 días. Los resultados al día 5, mostraron que los valores de pH son influenciados por los tratamientos químicos y tiempo de almacenamiento; con las rodajas tratadas con EDTA se obtuvo el mayor valor (4.9), en tanto que los tratamientos I. 1% ácido ascórbico + 1% cloruro de calcio 1% + 1% L-cisteína y II. 1% ácido ascórbico + 1% cloruro de calcio + 1.5% L-cisteína, obtuvieron el valor de 4.8. En la presente investigación se tuvo el mismo comportamiento, ya que existió una tendencia de aumento en los valores de pH.

Dussán-Sarria y otros (2017) reportaron un aumento de pH durante el almacenamiento a 11 °C durante 21 días en rodajas de banano. Los valores oscilaron en el intervalo de 4.99 a 5.75. Los valores de pH indicaron la susceptibilidad del banano al oscurecimiento enzimático y el uso de antioxidantes como el ácido cítrico y L-cisteína para evitar este fenómeno. Resultados similares fueron reportados en el presente trabajo, pues el pH osciló entre 5.23 a 5.30.

El pH es una importante característica de calidad poscosecha en la evaluación de la maduración de la fruta. En la mayoría de los cultivares existe una rápida disminución del pH de la pulpa en respuesta al aumento de la madurez. Sin embargo, la magnitud de la disminución depende del cultivar. (Cachay, 2017).

En el Cuadro 10, se presenta la prueba de Levene para los valores de pH en rodajas de banano para el día inicial y 5 de evaluación, donde existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza para, posteriormente, realizar la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 10. Prueba de Levene para pH en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	Estadístico de Levene	p
0	0.040	0.990
5	0.570	0.653

En el Cuadro 11, se presenta el análisis de varianza para el efecto de la concentración combinada de cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre el pH de rodajas de banano.

El análisis de varianza indica que la aplicación de cisteína/cloruro de calcio produjo efecto significativo ($p < 0.05$) sobre el pH en rodajas de banano, en el día 5 de evaluación.

Cuadro 11. Análisis de varianza para pH en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio inmersión en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
0	L-cisteína/cloruro de calcio	0.001	3	0.000	0.126	0.942
	Error	0.015	8	0.002		
	Total	0.016	11			
5	L-cisteína/cloruro de calcio	0.014	3	0.005	8.698	0.007
	Error	0.004	8	0.001		
	Total	0.018	11			

En el Cuadro 12, se presenta la prueba de Duncan aplicada a los valores de pH en rodajas de banano tratados con cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.

Cuadro 12. Prueba Duncan para pH en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

L-cisteína/cloruro de calcio	Subgrupo		
	1	2	3
0.25/0.25%	5.23		
0.49/0.49%	5.26	5.26	
0.73/0.73%		5.30	5.30
Control			5.32

La prueba de Duncan indica que para el quinto día de evaluación los tratamientos (subgrupo 1) con L-cisteína/cloruro de calcio en la proporción 0.25/0.25% y 0.49/0.49% presentaron menor pH (5.23 y 5.26, respectivamente) y el tratamiento 0.73/0.73% y control (subgrupo 3) mayor pH (5.30 y 5.32, respectivamente).

4.4. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre la textura en rodajas de banano

En la Figura 7, se presenta los valores experimentales de la textura, expresada como dureza a la penetración, en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio, para el día 0 y 5 de almacenamiento. Para el día inicial de la evaluación, el tratamiento con L-cisteína/cloruro de calcio en la proporción 0.73/0.73% presentó el mayor valor de fuerza de penetración (0.44 N) y menor valor el tratamiento con 0.25/0.25% (0.42 N); para el día 5 de evaluación, la fuerza a la penetración disminuyó, siendo menor en el control (0.30 N) y mayor en el tratamiento con 0.73/0.73% (0.32 N). Los resultados experimentales se muestran en el Anexo 3 para el día 0 y en el Anexo 4 para el día 5 de evaluación.

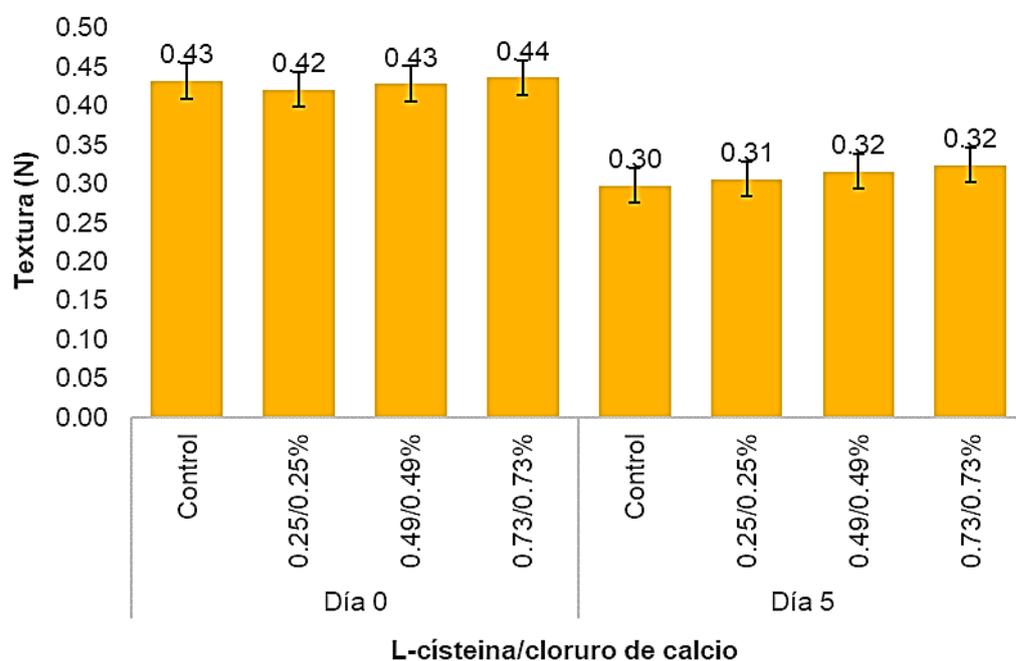


Figura 7. Evaluación de la textura en rodajas de banano en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Bico y otros (2010) evaluaron el efecto de dos formulaciones (I y II) en la solución química de inmersión (I. 1% de cloruro de calcio + 0.5% de ácido ascórbico + 0.75% de L-cisteína; y II. 2% lactato de calcio + 0.5% ácido ascórbico + 0.75% de L-cisteína), sobre la textura de banano variedad Cavendish recién cortado almacenado a 5 °C durante cuatro días; se observó disminución en los valores de firmeza al cuarto día de almacenamiento, siendo más notorio en el tratamiento control 0.47 N; en tanto que, en el tratamiento con cloruro de calcio se obtuvo 0.71 N y 0.69 N para aplicación de lactato de calcio. Sin embargo, la inmersión en lactato de calcio se descartó, debido al crecimiento de levaduras.

Dussán-Sarria y otros (2017) evaluaron el efecto de la concentración de 0.5% L-cisteína, 0.92% de ácido cítrico y tipo de empaque (PET y bolsas de polietileno selladas al vacío) sobre la textura en rodajas de banano

almacenadas a 11 °C durante 21 días. Los resultados muestran una disminución de la firmeza durante el almacenamiento, los valores oscilaron entre 0.66 N y 0.39 N y a pesar de que al final del almacenamiento no hubo diferencia estadística entre tratamientos, el valor más bajo fue del tratamiento control (0.39 N). La pérdida de firmeza en productos vegetales frescos es atribuida al debilitamiento de la pared celular ocasionado por la quiebra de pectinas por efecto enzimático durante la maduración. Los resultados de textura obtenidos al quinto día de evaluación en esta investigación, denotan que el valor más bajo de textura se obtuvo de la muestra control (0.30 N), en tanto que, los tratamientos L-cisteína/cloruro de calcio al 0.49/0.49% y 0.73/0.73% obtuvieron 0.32 N.

Los cambios de textura en la pulpa del banano presentan una disminución a través del almacenamiento, que se atribuye a la acción de la maduración, por el aumento de los sólidos solubles y debido a la degradación de la pectina y los almidones que originan cambios internos de la célula que permiten la movilidad intracelular (Quiceno, Giraldo y Villamizar 2014).

El ablandamiento de tejidos es uno de los principales problemas que limitan la vida útil de frutas frescas, y la firmeza es un factor importante que influye en la aceptabilidad del consumo de estos productos. La disminución de textura se produce debido al proceso de deterioro de la estructura celular, principalmente por la hidrólisis de polímeros pépticos en la pared celular y laminilla media de la fruta (Pérez, 2016).

La aplicación de cloruro es parte del conjunto de agentes mejoradores o conservantes de las características nutricionales y de calidad de las frutas y vegetales mínimamente procesados. Son comúnmente usadas en la industria como agentes reafirmantes para los

tomates en conserva, pepino y otros vegetales, y han reportado un beneficio en la reducción del oscurecimiento en manzanas, pimientos, fresas, tomates y melocotones (Casas, 2011).

En el Cuadro 13, se presenta la prueba de Levene para los valores de textura en rodajas de banano para el día inicial y 5 de evaluación, se observa que existió homogeneidad de varianza ($p > 0.05$), por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza y, posteriormente, la prueba de Duncan para determinar el mejor tratamiento.

Cuadro 13. Prueba de Levene para textura en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	Estadístico de Levene	p
0	0.610	0.629
5	0.910	0.476

En el Cuadro 14, se presenta el análisis de varianza para el efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre la textura de rodajas de banano.

Cuadro 14. Análisis de varianza para la textura en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Día	Origen	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	p
0	L-cisteína/cloruro de calcio	0.000	3	0.000	0.174	0.911
	Error	0.006	8	0.001		
	Total	0.006	11			
5	L-cisteína/cloruro de calcio	0.001	3	0.000	0.294	0.829
	Error	0.011	8	0.001		
	Total	0.012	11			

El análisis de varianza indica que la aplicación de L-cisteína/cloruro de calcio no presentó efecto significativo ($p > 0.05$) sobre la textura en rodajas de banano, para los días 0 y 5 de evaluación. Resultados similares fueron reportados por Bico y otros (2010), ya que adicional al uso de cloruro de calcio, ellos emplearon recubrimientos sobre la base de carragenina y carboximetilcelulosa.

Casas (2011) evaluó el efecto de la aplicación de baños cálcicos sobre la textura y los atributos de calidad de melón (*Cucumis melo* L.) fresco precortado y almacenado a 6 °C durante 14 días. Los resultados denotaron una tendencia a aumentar los valores de la textura con el incremento en la concentración; sin embargo, al evaluar el efecto del tiempo de aplicación del tratamiento no se encontró diferencia significativa.

4.5. Efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre la aceptabilidad general en rodajas de banano

En la Figura 8, se presentan los valores de la aceptabilidad general en rodajas de banano para el día 5 de evaluación, donde el tratamiento con L-cisteína/cloruro de calcio en la combinación 0.49/0.49% presentó mayor promedio de 7.17 y el tratamiento con 0.25/0.25% menor valor de 3.10. Los resultados se detallan en el Anexo 5 y en el Anexo 6 se presenta evidencias fotográficas.

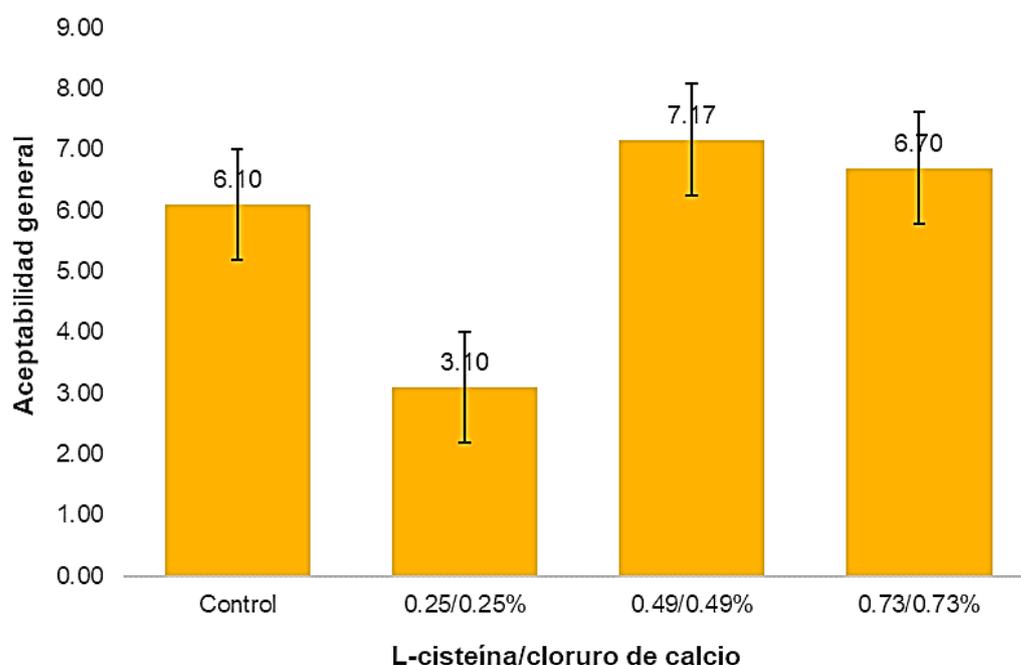


Figura 8. Aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico a los 5 días de evaluación

Bico y otros (2010) evaluaron el efecto de dos formulaciones (I. 1% de cloruro de calcio + 0.5% de ácido ascórbico + 0.75% de L-cisteína; y II. 2% lactato de calcio + 0.5% ácido ascórbico + 0.75% de L-cisteína), así como el uso de cinco recubrimientos comestibles (pectina, alginato,

carboximetilcelulosa, carragenina y quitosano) sobre la aceptabilidad general de rodajas de banano variedad Cavendish, almacenadas a 5 °C y 55% de HR durante cinco días. Los resultados mostraron que la formulación 1% de cloruro de calcio + 0.5% de ácido ascórbico + 0.75% de L-cisteína recibió la puntuación más alta para los resultados de aceptabilidad general, ya que fue la única con una vida útil comestible de cinco días a 5 °C.

En el Cuadro 15, se presenta la prueba de Friedman para la aceptabilidad general en rodajas de banano tratados con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.

Cuadro 15. Prueba Friedman para aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.

L-cisteína/cloruro de calcio	Rango promedio	Promedio	Moda
Control	2.52	6.10	6
0.25/0.25%	1.15	3.10	3
0.49/0.49%	3.28	7.17	8
0.73/0.73%	3.05	6.70	7
Chi-cuadrado		51.895	
P		0.000	

La prueba de Friedman indica la existencia de diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las rodajas de banano evaluadas, además el tratamiento L-cisteína/cloruro de calcio en la proporción 0.49/0.49% presentó mayor promedio de aceptabilidad (7.17) y moda de 8 correspondiente a la percepción de "Me gusta mucho".

En el Cuadro 16, se presenta la prueba de Wilcoxon con la que se comparó el tratamiento de mayor aceptación (proporción 0.49/0.49%) con

los demás, siendo estadísticamente diferente ($p < 0.05$) a los tratamientos con la proporción 0.25/0.25% y control, pero se aprecia similitud estadística ($p > 0.05$) con el tratamiento 0.73/0.73% de L-cisteína/cloruro de calcio.

Cuadro 16. Prueba de Wilcoxon para la aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico.

L-cisteína/cloruro de calcio		p
	Control	0.015
0.49/0.49%	0.25/0.25%	0.000
	0.73/0.73%	0.132

El efecto de la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico sobre las variables dependientes (color, sólidos solubles, pH, textura y aceptabilidad general de rodajas de banano (*Musa paradisiaca* L.) variedad Cavendish, evaluadas a los días 0 y 5 de almacenamiento a 5 °C, indica que el tratamiento L-cisteína/cloruro de calcio 0.73/0.73% es el que proporciona menor valor de índice de pardeamiento (65.29), mas no es el mejor tratamiento de aceptabilidad general; para ello, se realizó la prueba de Wilcoxon, el cual comparó el tratamiento de mayor aceptación (proporción 0.49/0.49%) con los demás. Los resultados indicaron que los tratamientos con la proporción 0.25/0.25% y el control fueron estadísticamente diferente ($p < 0.05$), sin embargo con el tratamiento 0.73/0.73% se obtuvo similitud estadística ($p > 0.05$), por tanto, el tratamiento con la solución combinada L-cisteína/cloruro de calcio de 0.49/0.49%, con índice de pardeamiento de 113.96, se considera como el mejor tratamiento al día 5 de evaluación.

V. CONCLUSIONES

Existió efecto significativo ($p < 0.05$) en las muestras tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio sobre el color, sólidos solubles, pH y aceptabilidad general de las rodajas de banano almacenados a 5 °C durante 5 días.

Se determinó como mejor tratamiento a la concentración combinada de L-cisteína/cloruro de calcio de 0.49/0.49% por presentar el mayor valor de aceptabilidad general (7.17) correspondiente a “Me gusta moderadamente” y cuyos valores de las variables dependientes fueron: índice de pardeamiento (113.96), sólidos solubles (22.50 °Brix), pH (5.26) y textura (0.32 N) a los 5 días de evaluación.

La evaluación del color mediante el método de visión computacional, a pesar de considerar solamente una parte de la imagen, resultó ser un es un método que permite obtener mayor cantidad de datos.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar mediciones de color con menores tiempos de evaluación, con la finalidad de apreciar mejor el pardeamiento y la forma de cómo se afecta las variables dependientes.

Investigar como se ve afectado el índice de pardeamiento a mayores concentraciones de L-cisteína; así como otras combinaciones con ácido cítrico y ácido ascórbico

Investigar otras metodologías de visión computacional, que permitan obtener imágenes de mejor calidad y considerar el área total de las rodajas para la determinación del pardeamiento enzimático a partir de los valores L, a y b, que se relacionen más con el cambio de color.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRODATAPERU, 2017. Recuperado de:

<https://www.agrodataperu.com/2018/01/platano-banano-peru-exportacion-2017-diciembre.html>.

Alarcón, E. 2005. Evaluación sensorial. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD. Colombia.

Anzaldúa-Morales, A. 2005. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Segunda edición. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España

AOAC. 1997. Association of Official Analytical Chemists. AOAC International. Official Methods of Analysis 16th. Edition. Estados Unidos de America.

Begoña, D., González-Peña, D., Colina-Coca, C. y Sánchez-Moreno, C. 2015. Uso de películas en recubrimientos comestibles en los productos de IV y V gama. Departamento de caracterización, calidad y seguridad. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos y Nutrición. Madrid, España.

Benavides, A. 2010. Efecto de inhibidores del pardeamiento enzimático en peras (*Pyrus communis* L.) variedad Packham's Triumph mínimamente procesadas. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Chile. Chile.

Bico, S., Raposo, J., Costa de Morais, S. y Morais M, 2010. Chemical dips and edible coatings to retard softening and browning of fresh-cut banana. Universidad Católica Portuguesa. Porto, Portugal.

Blas, G. y Gómez, F. 2014. Propiedades funcionales del plátano (*Musa sp*). Rev Med UV. Facultad de Nutrición Xalapa, Universidad Veracruzana. México.

Bravo, A. y Vélez, P. 2016. Efecto de la temperatura y adición de ácido ascórbico en el pardeamiento enzimático de la pulpa de mate (*Crescentia cujete*). Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.

Bravo, M., Muñoz, D., Calderón, G. y Osorio, J. 2011. Desarrollo de un método para la extracción de polifenol oxidasa de uchuva (*Physalis peruviana* L.) y aislamiento por sistemas bifásicos acuosos. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 18(2): 124-132. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia.

Cabañas, C. 2017. Estudio de la influencia de la temperatura y tipo de pre-tratamiento en el color de rodajas de manzana var. Granny Smith, durante el proceso de pardeamiento enzimático. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Amazonas, Perú.

Cabezas, S. 2013. Estrategias dirigidas a retrasar el pardeamiento enzimático en productos destinados a la IV Gama: alcachofas y patatas. Tesis para obtener el grado académico de Doctor en Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Universidad de Córdoba. España.

Cachay, L. 2017. Maduración controlada y color en bananos. Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, San Martín, Perú.

Calderón, P. 2015. Evaluación de métodos de inactivación enzimática en la obtención de pulpa de membrillo (*Cydonia oblonga*). Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Junín, Perú.

Casas, F. 2011. Efecto de la aplicación de tratamiento térmico suave combinado con calcio sobre la firmeza y la microestructura de melón fresco precortado (*Cucumis melo*). Tesis para obtener el grado académico de Master en Diseño y Gestión de Procesos. Universidad La Sabana, Colombia.

Clydesdale, F. 1993. Color as a factor in food choice. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33: 83-101.

Dussán-Sarria, S., Gaona-Acevedo, A. y Hleap-Zapata, J. 2017. Efecto del uso de antioxidantes en plátano verde Dominico-Hartón (*Musa AAB* Simmonds) cortado en rodajas. Universidad Nacional de Colombia. Valle del Cauca, Colombia.

Furtado, E., Mota, A., Lopes, M., Martin de Oliveira, P. y Stringheta, P. 2015. Minimally processed fruit salad enriched with *Lactobacillus acidophilus*: Viability of anti-browning compounds in the preservation of color. *African Journal of Biotechnology*, 14(24): 2022-2027.

Gorny, J., Cifuentes, R. y Kader, A. 2001. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharvest Biology and Technology* 24:271–278.

Jeong-Seok, C., Hyeon-Jeong, L., Jung-Hoon, P., Jun-Hyung, S., Ji-Young, C. y Kwang-Deog, M. 2016. Image analysis to evaluate the browning degree of banana (*Musa* spp.) peel. *Food Chemistry*, 194:1028-1033.

Martins, M. y Vilas-Boas, E. 2006. Inibição do escurecimento enzimático de banana Maçã minimamente processada. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 26(1): 110-115.

Minagri. 2014. El banano peruano. Tendencias de la producción y el comercio del banano en el mercado internacional y nacional. Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria. Edición Digital: Minagri – DGPA. Lima, Perú.

León, K., Mery, D., Pedreschi, F. y León, J., 2006. Color measurement in L, a and b units from RGB digital images. *Food Research International*, 39:1084-1091.

Palma, O. 2010. Caracterización de la polifenoloxidasasa del mamey (*Pouteria sapota*) y control del oscurecimiento enzimático. Tesis para obtener el grado académico de Doctor en Ciencias Quimicobiológicas. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México.

Pereyra, N. 2011. Desarrollo de manzana trozada mínimamente procesada y determinación de vida útil, Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero en Alimentos. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.

Pérez, A. 2016. Efecto del agente antimicrobiano del aceite esencial de canela y aceite esencial de limón en la cobertura comestible y el tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, recuento de mohos y levaduras y aceptabilidad general en rodajas de banano (*Musa paradisiaca*). Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Quiceno, M., Giraldo, G. y Villamizar, R. 2014. Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB Simmonds) para la industrialización. *UGCiencia*, 20: 48-54.

Saini, A. y Garg, M. 2016. Effects of different pre-treatments on browning of frozen banana slices. Department of Processing and Food Engineering, Haryana Agricultural University. India.

Silveira, A. 2017. Uso de aditivos y métodos físicos para mantener la calidad de los productos de IV Gama o mínimamente procesados. *Revista Agrociencia Uruguay*, 21(1): 1-6.

Yupangui, T. 2016. Métodos utilizados para evitar el pardeamiento enzimático y no enzimático en el puré de banano en la industria alimenticia. Unidad Académica de Ciencias Químicas y de la Salud. Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

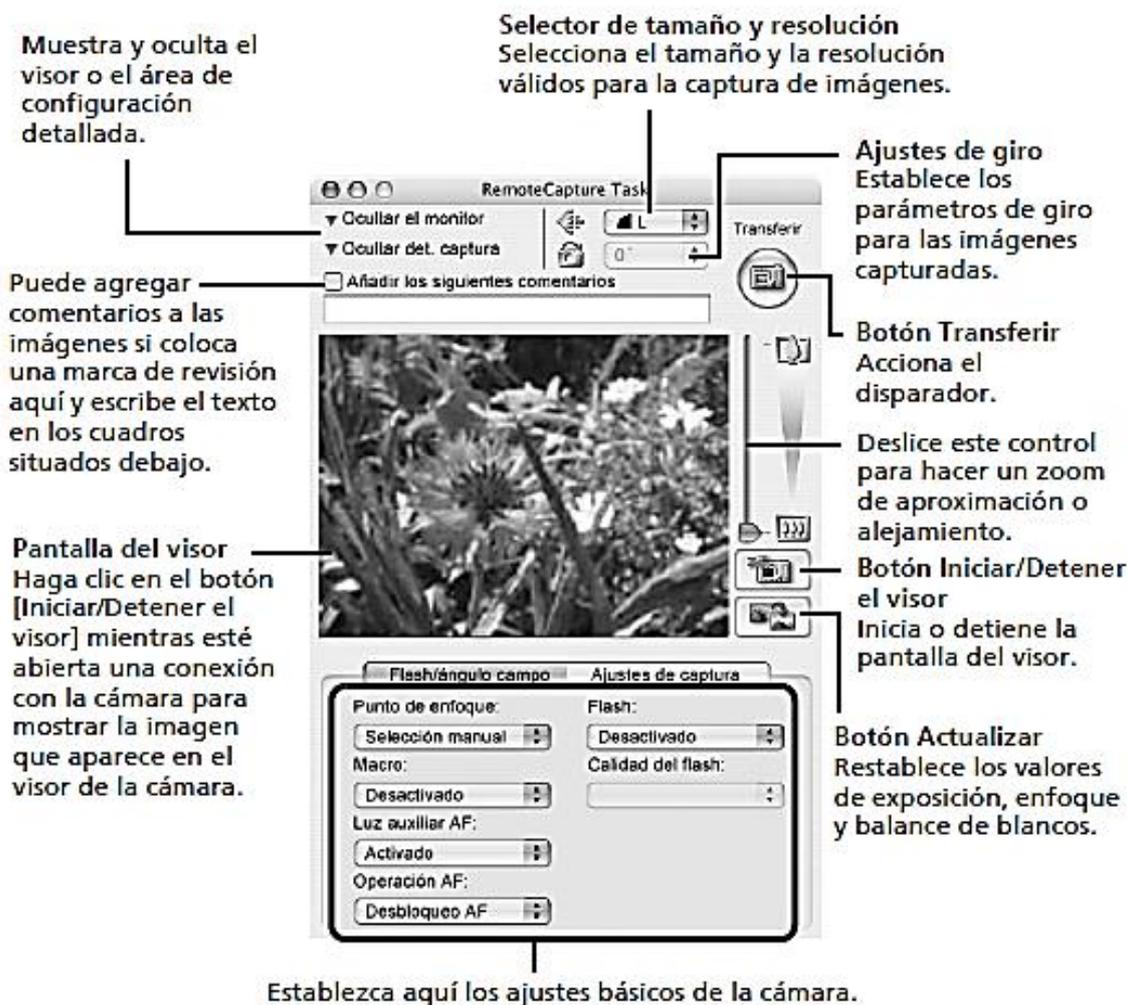
Vilas-Boas, E. y Kader, A. 2005. Effect of atmospheric modification, 1-MCP and chemicals on quality of fresh-cut banana. *Postharvest Biology and Technology*, 39: 155–162.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Menú configuración manual Canon PowerShot A520

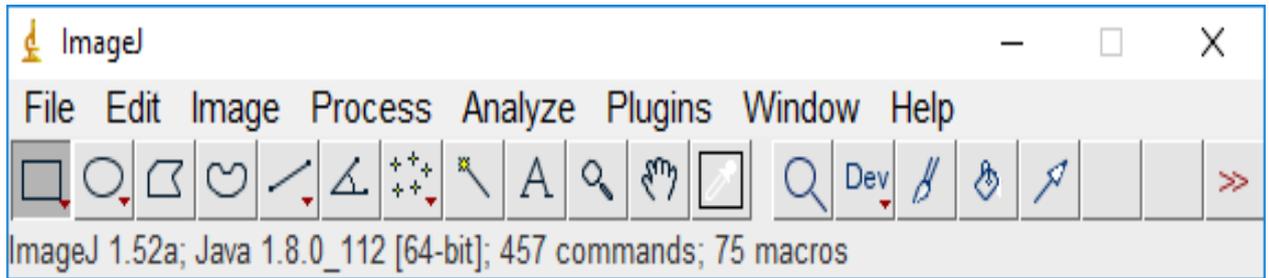
Ventana RemoteCapture Task

La ventana RemoteCapture Task tiene las características siguientes.

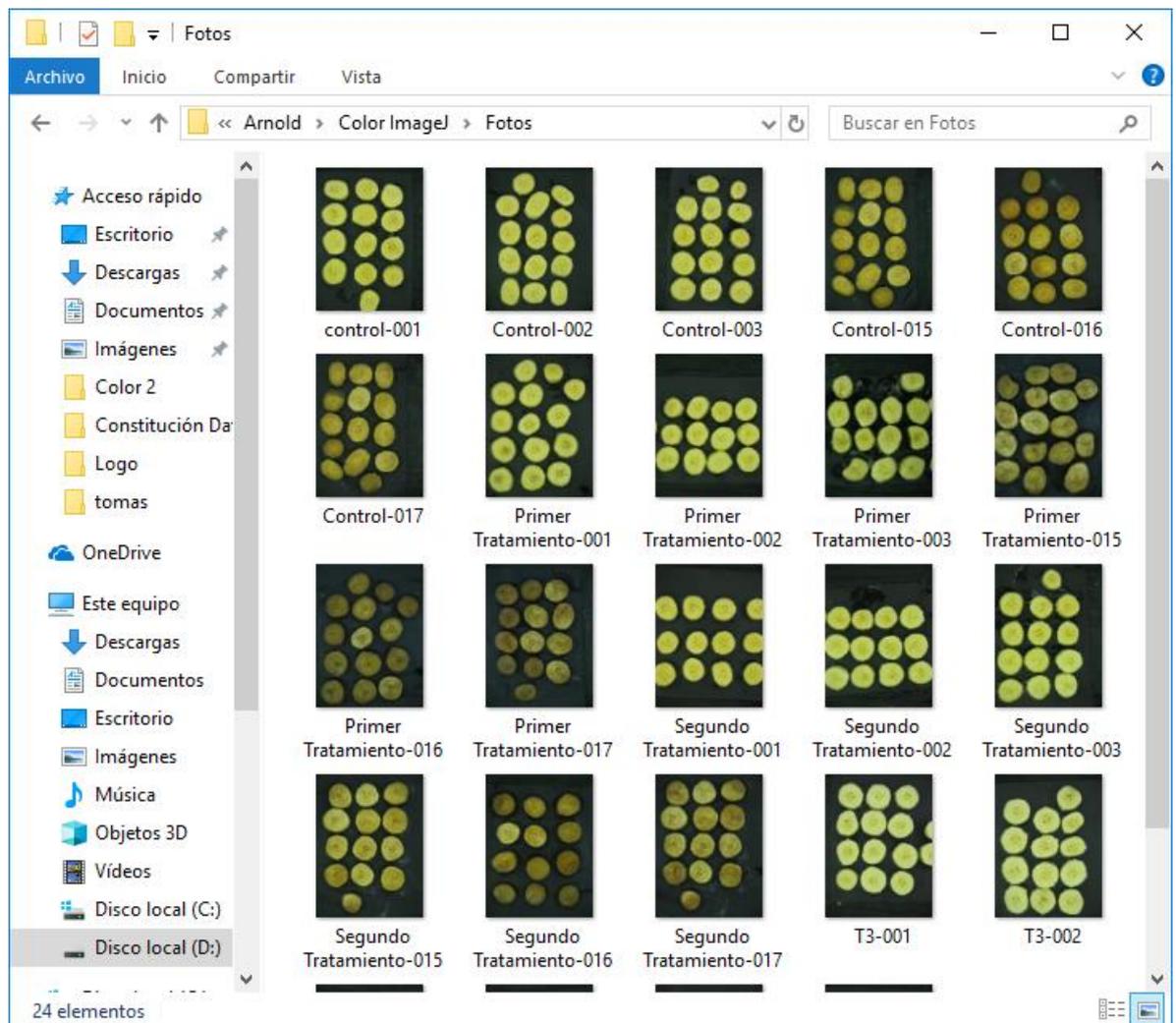


Anexo 2. Procedimiento para la determinación del color mediante visión computacional

Etapa 1. Abrir software libre ImageJ



Etapa 2. Ordenar la data a emplear para el análisis



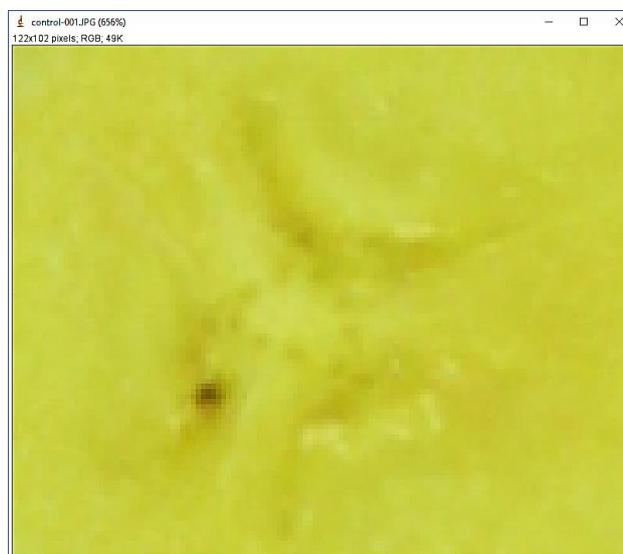
.....continúa.....

Anexo 2.continuación.....

Etapa 3. Abrir la imagen que se desea procesar



Etapa 4. Seleccionar área donde se desea recolectar datos de color



.....continúa.....

Anexo 2.continuación.....

Etapa 5. Data obtenida del software libre ImageJ está en escala R G B

Results

	Label	Area	Mean	Min	Max
1	Red	12444	186.692	114	204
2	Green	12444	191.579	97	208
3	Blue	12444	71.149	1	103
4	(R+G+B)/3	12444	149.815	72	169
5	0.299R+0.587G+0.114B	12444	176.387	92	194

Etapa 6. A partir de R G B transformar los datos a L*, a* y b* usando calculadora (Excel) de color

RGB > CIE Lab

RGB_{max}: 255

XYZ reference values: 94.81, 100.00, 107.30

The XYZ values (illuminant and observer) can be found at the bottom.

R	G	B	CIE			CIE		
			X	Y	Z	L	a	b
194.85	209.82	126.03	49.2	59.1	28.6	81.34	-17.68	39.18
193.41	212.52	126.16	49.5	60.2	28.8	81.97	-19.56	39.89
194.9	209.76	125.27	49.2	59.1	28.3	81.32	-17.72	39.54
173.56	181.34	92.978	35.9	42.9	16.7	71.50	-15.36	43.20
175.16	185.32	102.11	37.5	44.9	19.3	72.84	-15.81	40.30
172.95	181.28	94.669	35.9	42.9	17.1	71.46	-15.41	42.30
189.03	199.91	92.147	43.6	52.9	18.1	77.79	-18.46	51.28
191.72	201.34	87.263	44.4	53.8	17.1	78.34	-18.47	54.19
165.87	180.15	88.286	33.8	41.5	15.5	70.53	-18.36	44.20
147.77	150.98	72.044	24.4	28.9	10.4	60.67	-12.40	40.24
122.56	120.96	48.57	15.5	18.1	5.5	49.57	-9.33	38.63
136.5	134.04	57.741	19.5	22.6	7.3	54.70	-9.48	40.21

Anexo 3. Resultados fisicoquímicos de rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico al día 0 de evaluación

Día	L-cisteína/cloruro de calcio	Índice de pardeamiento	Sólidos solubles (%)	pH	Textura (N)
0	Control	84.23	24.00	5.26	0.45
	Control	96.11	22.80	5.20	0.43
	Control	102.40	23.00	5.28	0.42
	Promedio	94.25	23.27	5.25	0.43
	Desviación estándar	9.23	0.64	0.04	0.01
	0.25/0.25%	110.22	22.00	5.20	0.47
	0.25/0.25%	87.70	21.00	5.28	0.40
	0.25/0.25%	87.32	22.00	5.26	0.39
	Promedio	95.08	21.67	5.25	0.42
	Desviación estándar	13.12	0.58	0.04	0.04
	0.49/0.49%	107.75	21.50	5.25	0.43
	0.49/0.49%	108.47	21.30	5.20	0.42
	0.49/0.49%	99.79	19.60	5.28	0.44
	Promedio	105.34	20.80	5.24	0.43
	Desviación estándar	4.82	1.04	0.04	0.01
	0.73/0.73%	54.15	20.00	5.22	0.41
	0.73/0.73%	61.24	18.00	5.25	0.43
	0.73/0.73%	56.86	21.00	5.32	0.47
	Promedio	57.42	19.67	5.26	0.44
	Desviación estándar	3.58	1.53	0.05	0.03

Anexo 4. Resultados fisicoquímicos de rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico al día 5 de evaluación

Día	L-cisteína/cloruro de calcio	Índice de pardeamiento	Sólidos solubles (%)	pH	Textura (N)
5	Control	102.76	23.50	5.35	0.28
	Control	132.17	23.00	5.29	0.34
	Control	99.20	23.00	5.31	0.27
	Promedio	111.38	23.17	5.32	0.30
	Desviación estándar	18.09	0.29	0.03	0.04
	0.25/0.25%	123.72	23.00	5.25	0.29
	0.25/0.25%	144.98	22.00	5.20	0.32
	0.25/0.25%	97.72	21.00	5.24	0.30
	Promedio	122.14	22.00	5.23	0.31
	Desviación estándar	23.67	1.00	0.03	0.02
	0.49/0.49%	139.06	23.00	5.28	0.31
	0.49/0.49%	108.83	22.50	5.25	0.31
	0.49/0.49%	94.01	22.00	5.24	0.33
	Promedio	113.96	22.50	5.26	0.32
	Desviación estándar	22.96	0.50	0.02	0.01
	0.73/0.73%	71.83	20.00	5.30	0.33
	0.73/0.73%	62.20	21.00	5.29	0.26
	0.73/0.73%	61.84	21.50	5.30	0.38
	Promedio	65.29	20.83	5.30	0.32
	Desviación estándar	5.67	0.76	0.01	0.06

Anexo 5. Calificaciones de aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Jueces	L-cisteína/cloruro de calcio			
	Control	0.25/0.25%	0.49/0.49%	0.73/0.73%
1	3	4	8	5
2	8	3	6	8
3	5	4	4	5
4	7	3	9	5
5	4	3	6	6
6	1	2	7	6
7	6	3	7	7
8	8	7	6	9
9	8	1	7	6
10	7	5	8	8
11	6	3	8	8
12	3	4	7	7
13	7	3	7	8
14	9	1	5	4
15	9	4	6	5
16	8	3	8	7
17	6	4	8	7
18	7	1	6	7
19	5	1	8	7
20	5	3	8	6
21	4	3	6	6
22	5	3	7	8
23	6	3	8	8
24	7	3	9	5
25	6	4	8	7
26	6	3	6	8
27	6	3	8	7
28	6	4	9	8
29	7	2	8	7
30	8	3	7	6
Promedio	6.1	3.1	7.17	6.7
Moda	6	3	8	7

Anexo 6. Prueba sensorial de aceptabilidad general en rodajas de banano tratadas con L-cisteína/cloruro de calcio en la solución de inmersión con ácido ascórbico

Presentación de las rodajas de banano con L-cisteína/cloruro de calcio para su evaluación sensorial.



Leyenda

F₀: Concentración de L-cisteína/cloruro de calcio (0.0/0.0%).

F₁: Concentración de L-cisteína/cloruro de calcio (0.25/0.25%).

F₂: Concentración de L-cisteína/cloruro de calcio (0.49/0.49%).

F₃: Concentración de L-cisteína/cloruro de calcio (0.73/0.73%).